

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Numerické modelování proudu vody sprchovací tryskou
hasící koksárenské baterie**

**Numerical modeling of water flow through nozzle spray
of the fire tower of coke battery**

Student:

Bc. Václav Henek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Adam Bureček Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Václav Henek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 16 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: Numerické modelování proudu vody sprchovací tryskou hasicí věže
koksárenské baterie
Numerical Modeling of Water Flow Through Nozzle Spray of the Fire
Tower of Coke Battery

Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerše k problematice konstrukce skrápěcích trysek a k zařízením pro snižování emisí v hasicích věžích koksárenských baterií. Vícefázové proudění vody a vzduchu, charakteristika matematických modelů.
2. Definování matematického modelu vícefázového proudění vody a vzduchu, definování vstupních a výstupních okrajových podmínek pro jednotlivé fáze.
3. Vytvoření zjednodušeného 2D modelu skrápěcí trysky, testování vlivu konstrukční úpravy trysky na rozstřík vody a různých okrajových podmínek.
4. Vytvoření 3D modelu skrápěcí trysky, aplikace definovaného vícefázového matematického modelu.
5. Vyhodnocení proudového pole (tlakové, rychlostní pole) pro různé varianty konstrukce. Zhodnocení jednotlivých variant.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. KOZUBKOVÁ, M. *Modelování proudění FLUENT, CFX*, VŠB-TU Ostrava, 2008, 142 s.
<<http://www.338.vsb.cz/PDF/Kozubkova-Fluent.pdf>>.
2. BOJKO, M. *3D proudění – Ansys Fluent učební text*, VŠB-TU Ostrava, 2012. 314 s. ISBN 978-80-248-2607-3.
<<http://www.338.vsb.cz/PDF/3D-Bojko.pdf>>.
3. KOZUBKOVÁ, M., BLEJCHAŘ, T., BOJKO, M. *Modelování přenosu tepla, hmoty a hybnosti*, VŠB-TU Ostrava, 2011, 174 s., ISBN 978-80-248-2491-8.
<http://www.338.vsb.cz/PDF/Modelovani_prenosu_tepla_hmoty_a_hybnosti-KOZUBKOVA.pdf>.
4. FLUENT: *Fluent 14.0 - ANSYS FLUENT*, ANSYS, Inc. 2011.
5. ROZUM, K.: *Metodika snižování tuhých emisí z hasicích věží koksoven*, Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2004, 80 s, ISBN 80-248-0599-5.
6. BOJKO, M., KOZUBKOVÁ, M., RAUTOVÁ, J. *Základy hydromechaniky a zásobování hasiv*, SPBI

SPEKTRUM, 2008, 198 s. ISBN 978-80-7385-033-3.

7. CHOCHOLÁČ, M.; MILATA, F. *Výpočtové podklady zařízení k mokrému hašení koksů*. Sborník vědeckých prací, roč. XIV, č. 1, čl. 53, řada strojnická, VŠB-TU Ostrava, 1968, 101-119 s.

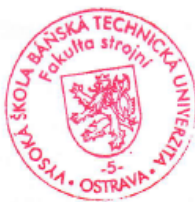
8. BLEJCHAŘ, T. *CFD simulation of jet flow and comparison with measurement*. Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series, No. 3, 2010, vol. LVI, p. 7-12.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Adam Bureček, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

11.5.2014



podpis studenta

PROHLÁŠENÍ O VYUŽITÍ VÝSLEDKŮ PRÁCE

Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....19.5.2014.....

..........

podpis studenta

ANOTACE

HENEK, V. *Numerické modelování proudu vody sprchovací tryskou hasící koksárenské baterie*. Ostrava: Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2014, 66 s. Diplomové práce, vedoucí Ing. Adam Bureček, Ph.d

Diplomová práce se zabývá numerickým modelováním proudu vody sprchovací tryskou hasící koksárenské baterie, které bylo realizováno v programu ANSYS FLUENT. Tryska je numericky modelována, aby bylo zjištěno, jak funguje a jak je velký její plošný rozstřík. V úvodu práce je popsána problematika zkrápění koksu, rozdělení proudů a druhy trysek. Dále je zde vysvětleno vícefázové proudění a model diskrétní fáze. Praktická část obsahuje postup numerického modelování trysky, což znamená tvorbu geometrie a výpočetní sítě, nastavení modelů a výsledky simulace. Ty jsou porovnány s výsledky experimentu pro ověření výpočtového modelu a poté následují konstrukční úpravy, které mají vyřešit požadavek zadavatele na vyřešení intenzity skrápění trysek v zadní části potrubního vedení. V závěru jsou vyhodnoceny výsledky simulace upravené geometrie trysky.

HENEK, V. *Numerical modeling of water flow through nozzle spray of the fire tower of coke battery*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2014, 66 p. Thesis, head: Ing. Adam Bureček, Ph.d.

This diploma thesis deals with numeric modeling of water flow through spray nozzle of the fire tower of coke battery, which was realized in the ANSYS FLUENT program. The nozzle is numerically modeled in order to see how it works and how large its spray surface is. First part of the thesis describes process of sprinkling of coke, differentiation of flows and types of nozzles. It also explains concept of multiphase flow and model of discrete phase. The practical part contains models settings, realization of numeric modeling itself, which includes creation of geometry and meshing, and the results of simulation. The results are compared with output of experiment verifying the calculating model and followed by design modifications, which are able to solve the authority's requirements to resolve the request authority to resolve the intensity of spraying nozzles in

the back of the duct. The last part brings the evaluation of results of adjusted spray nozzle's simulation.

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Úvod do Koksárenství.....	13
2.1 Koks	13
2.1.1 Mokrý Hašení	13
2.1.2 Suché chlazení.....	14
3. Rozdělení vodních proudů	15
3.1 Plný proud vody	16
3.2 Roztříštěný proud kapaliny	17
3.3 Vodní mlha.....	17
3.4 Zjistitelné parametry vodního proudu	17
4. Trysky	18
4.1 Odstředivé trysky	18
4.2 Chladicí trysky	20
4.2.1 Trysky s rozstříkem dutého kužele.....	21
4.2.2 Trysky s rozstříkem plného kužele.....	22
4.2.3 Trysky s odrážecím talířem	23
4.2.4 Trysky s plochým rozstříkem.....	24
5. Vícefázové proudění	25
5.1 Tří-fázové proudění režimy.....	26
5.2 Příklady vícefázových systémů.....	27
5.3. Výpočetní modely vícefázového proudění.....	27
6. Modely turbulence k-ε	30
6.1 Dvourovnicové modely turbulence	31
6.2 RSM - Turbulentní model	33
7. Modelování diskrétní fáze (Discrete Phase).....	34
7.1 Fyzikální modely pro diskrétní fázi	36
7.2 Typ částic (partical type).....	38
8. Modelování hasící trysky	39
8.1 Tvorba geometrie trysky	42
8.2 Tvorba sítě (MESH).....	44
8.3.1 Hlavní nastavení (GENERAL)	45
8.3.2 Nastavení záložky Models	46
8.3.3 Nastavení materiálů.....	48

8.3.4 Nastavení Boundary Condition	49
8.3.5 Solution Initialization a Run Calculation	50
8.4 Vyhodnocení výsledků 2D simulace.....	50
9. Experimentální zjištění rozstříku vody	53
10. Konstrukční úpravy trysky	54
10.1 Porovnání výsledků.....	58
11. Model 3D geometrie	60
12. Závěr	62
13. Použitá literatura	65
14. Seznam příloh	66

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Značka	Název	Jednotka
v	rychlost	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
t	čas	$[\text{s}]$
a	zrychlení	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
ρ	hustota	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
μ	dynamická viskozita	$[\text{Pa}\cdot\text{s}]$
ε	rychlost disipace	$[\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}]$
Re	Reynoldsovo číslo	$[-]$
Q_v	objemový průtok	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
Q_m	hmotnostní průtok	$[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$
p	tlak	$[\text{Pa}]$
π	Ludolfovo číslo	$[-]$
r_t	poloměr trubice	$[\text{m}]$
r_{VZ}	poloměr vzduchového víru	$[\text{m}]$
r_K	poloměr kanálu	$[\text{m}]$
v_K	rychlost v přívodních kanálech	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
U_R	tangenciální rychlost	$[\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$
φ	Součinitel plnění	$[-]$
ω	specifická rychlost disipace	$[\text{s}^{-1}]$
C_μ	konstanta modelu	$[-]$
V	objem	$[\text{m}^3]$
l	intenzita ostříku	$[\text{m}]$
S_o	plocha otvoru	$[\text{m}^2]$
S	plocha	$[\text{m}^2]$
p_t	tlak teoretický	$[\text{Pa}]$

p_o	tlak operační	[Pa]
k	turbulentní kinetická energie	[m ² ·s ⁻²]
b	součinitel teplotní roztažnosti	[K ⁻¹]
L	délkové měřítko turbulence	[m]
t_s	časová odezva částic	[s ⁻¹]

1. Úvod

Tato diplomová práce pojednává o numerickém modelování proudu vody procházejícího hasicí tryskou hasicí koksárenské věže. Průběh a intenzita hašení má velký vliv na výslednou kvalitu koksu, která je důležitá pro průmyslové využití. Nutné je docílit rovnoměrného rozstříku po co největší skrápěné ploše. Rovnoměrný rozstřík je důležitý proto, že když je koks skrápěný moc, je poté nasycen vodou a stává se z něj nekvalitní koks. Když je skrápěný málo, dochází k ohoření koksu, což je také nežádoucí jev, a koks je třeba dále dohašovat na rampě, kde se z hasicího vagonu vysype. Toto zadání bylo numericky řešeno v programu Ansys-Fluent, abychom zjistili dynamiku a vzdálenost rozstříku proudu vody a rovněž abychom mohli sledovat chování kapaliny v trysce a na odrazecích talířích. Hlavním požadavkem zadavatele práce byla úprava geometrie trysky z důvodu tlakových poměrů v potrubí, které mají velký vliv na intenzitu zkrápění u trysek uložených v zadní části hasicího zařízení. Geometrie trysky a hmotnostní průtok vody byl poskytnut zadavatelem.

Úvodní část diplomové práce je zaměřena na rozdělení chlazení žhavého koksu, který byl vytlačen z koksovací komory do hasicího vozu, a na hašení vodním proudem, jeho vlastnosti a na vysvětlení výhod a nevýhod jednotlivých proudů.

Další část této práce se věnuje rozdělení vodních proudů. K jejich vytvoření těchto nám slouží trysky. Tento mechanický prvek je vhodný ke změně průtoku, rychlosti kapaliny a zajišťuje rovnoměrnou intenzitu skrápěné plochy. V práci jsou vysvětleny principy jednotlivých trysek a jejich rozdělení podle tvaru skrápěné plochy. Dále je zde popsán výpočtový režim vícefázového proudění programu Ansys-Fluent, který je použit k vyřešení velikosti skrápěné plochy zadané hasicí tryskou. Jsou zde popsány příklady vícefázového proudění, možnosti výběru modelu a jejich výhody a nevýhody.

V praktické části je uvedena geometrie modelu, a popsáno jednotlivé nastavení výpočtové sítě, okrajových podmínek a výpočtových modelů, které jsou důležité k přesnému výpočtu proudu vody. Toto nastavení jsem aplikoval na 2D a na 3D geometrii. V závěru práce jsem vyhodnotil výsledky simulace a porovnal je s výsledky skutečného modelu trysky.

2. Úvod do Koksárenství

2.1 Koks

Koks vzniká pyrolýzou černého uhlí při vysoké teplotě nad 1000 °C bez přístupu vzduchu. Pro výrobu koksu se používá černé uhlí, pokud možno s nízkým obsahem síry a vhodnými vlastnostmi pro koksování. Při koksování uhlí vzniká také surový dehet, čpavek, surový benzol, koksárenský plyn a sulfan. Koks se používá jako palivo a redukční činidlo např. ve vysoké peci při výrobě železa nebo v kuplovnách při výrobě litiny a izolačních materiálů, jako palivo při vytápění a jako surovina při některých chemických výrobcích. Koks vzniká i přirozenou cestou, kde v průběhu geologického vývoje přišly uhelné sloje do styku se žhavým magmatem. Při zpracování surové ropy vzniká koks také, ale jeho kvalita není vhodná k výrobě železa [1].

Z koksovací komory je žhavý koks nutné rychle ochladit, aby se zabránilo ztrátám ohoření žhavého koksu na volném vzduchu. Chlazení koksu rozdělujeme na dvě metody podle způsobu jeho hašení [3].

- Mokrý hašení (pomocí vody)
- Suché chlazení (pomocí interního plynu)

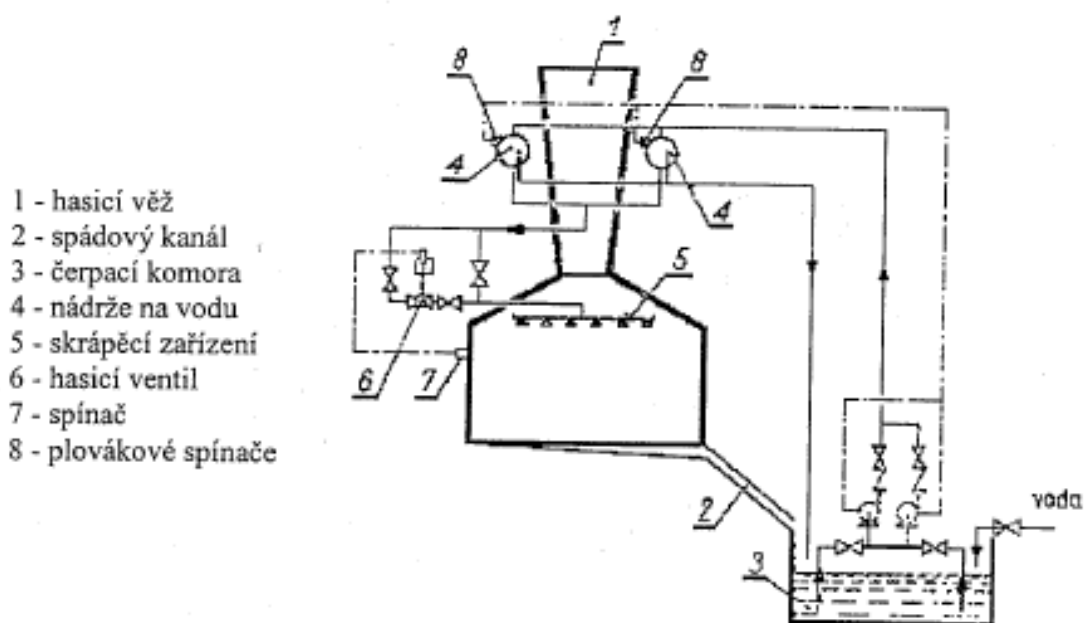
2.1.1 Mokrý Hašení

Jedná se o nejlevnější způsob hašení koksu. Z koksovací komory je rozžhavený koks dopraven na hasicí vůz, který je dopraven do hasicí věže, kde dochází ke sprchování rozžhaveného koksu silným proudem vody. Doba sprchování se pohybuje mezi 60 až 120s a spotřeba vody pro hašení je v rozmezí 1,4 až 1,6 m³ na tunu koksu. Při procesu zůstává v uhašeném koksu asi 3 až 10 % nežádoucí vody. Z tohoto důvodu je nutné dodržovat rovnoměrné rozložení koksu po celé ploše hasicího vozu. Po ochlazení a odkapání přebytečné vody se koks vysype na koksovací rampu a nechá se úplně vychladnout, případně se dohasí ještě hořící a špatně chlazená místa [3].

Voda pro hašení se může přivádět buď z vodních nádrží, které jsou umístěny přímo na hasicí věži, nebo je voda dopravována čerpadly o velkém výkonu přímo do skrápěcích trysek. Po uhašení je přebytečná voda společně s koksovým prachem a ostatními nečistotami odváděna spádovým kanálem do usazovací nádrže. Usazený koksový prach je vybírán a nádrž je průběžně čištěna. Ztráta vody, která vzniká z velké části odpařením, se nahrazuje vodou užitkovou. Ta je dopravována do čerpací komory a její spotřeba činí asi

0,5 m³ na tunu koksu. Užitková voda se doplňuje, aby se zamezilo ohrožení životního prostředí a prodloužila životnost celému hydraulickému systému [3].

Emise vznikající při průběhu hašení koksu jsou negativním účinkem této metody. Dochází ke znečištění životního prostředí v blízkém okolí koksoven. Základní látky, které se při hašení do vzduchu dostávají, jsou tuhé a znečišťující látky: organický C, fenol (50%), čpavek (20%) a sirovodík (20%) [2]. Při mokrému hašení je množství znečišťujících látek poměrně malé (6%). Emise prachu z tohoto zdroje už jsou ale závažnější a jedná se 60% tvorby prachu z koksoven.

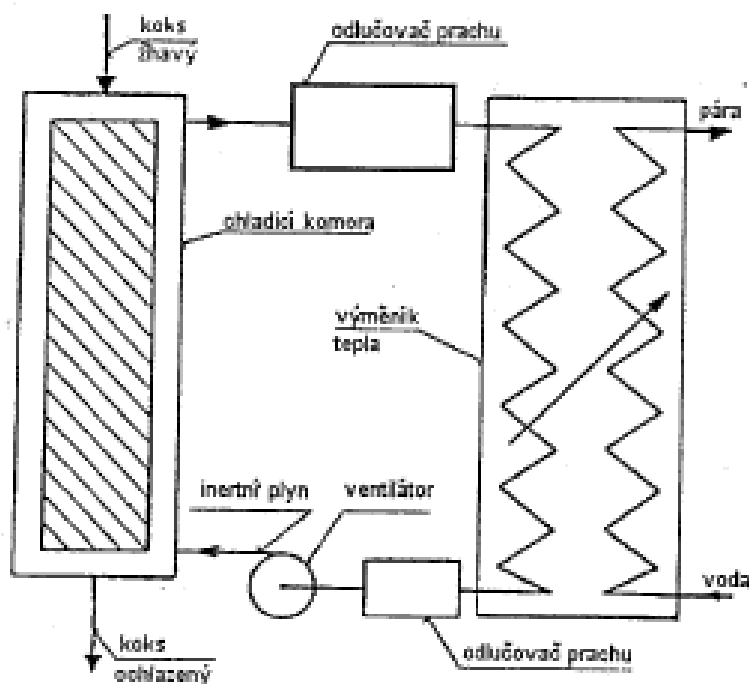


Obr. 2.1 Zařízení k mokrému hašení [3]

2.1.2 Suché chlazení

Koks vytlačený z baterie má teplotu 950 - 1050 °C. Při mokrému hašení dochází k prudkému ochlazení koksu a jeho tepelná hodnota se ztrácí bez účinku. Při suchém chlazení se snažíme využít vysokou teplotu koksu k vedlejším účelům, jako jsou např. ohřev vody, vzduchu či topného plynu. Teplo je z žhavého koksu odebíráno pomocí interních plynů. Toto využití tepla pomáhá snižovat energetickou náročnost koksovacího procesu a také zvyšuje čistotu ovzduší, do kterého se nedostanou škodlivé emise páry, prachu v závislosti na odpařování vody.

Ochlazením jedné tuny koksu z teploty 1100°C na 20°C se uvolní přibližně 1600MJ tepelné energie, což je dostatek pro ohřev přibližně 0,5 m³ vody. Proces ochlazení se postupně zpomaluje a ve skutečnosti je možno získat 75% citelného tepla [3].

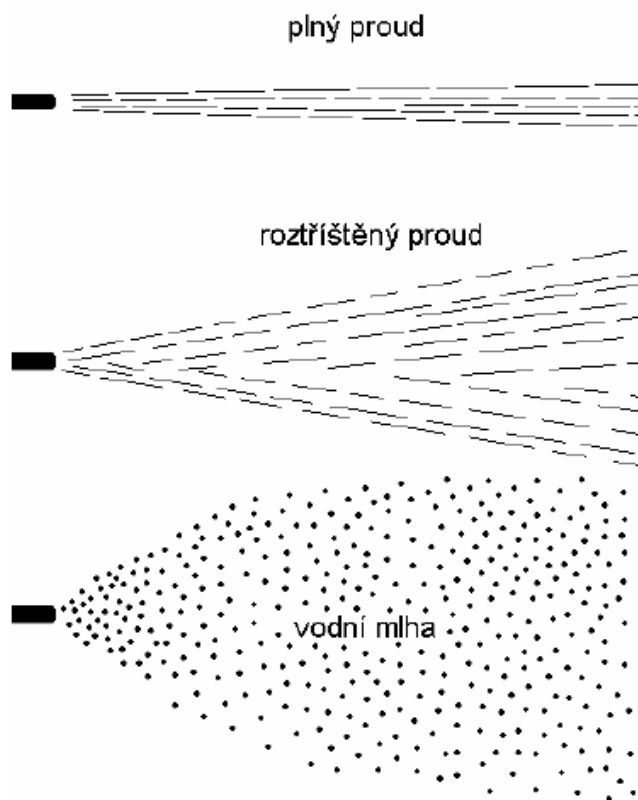


Obr. 2.2 Princip suchého chlazení koksu [3]

3. Rozdělení vodních proudů

Nejčastějším a stále velice účinným prostředkem k průmyslovému hašení je používaná voda. Toto medium je vzhledem k ceně a relativně snadné dostupnosti velmi výhodné. Hašení vodním proudem rozdělujeme na:

- plným proudem
- roztříštěným proudem
- vodní mlhou



Obr. 3.1 Rozdělení vodních proudů [9]

3.1 Plný proud vody

Plný proud kapaliny je charakterizován proudem s téměř rovnoběžnými okraji. Zůstává kompaktní po celou dobu letu. V důsledku fyzikálních vlastností (tření) se však v reálném prostředí kompaktní proud po určité době rozpadá. Tento typ je vhodný pro dosažení co největší vzdálenosti nebo síly. Nevýhodou je pak silný zpětný tlak. U plného proudu vody rozlišujeme dráhu letu na dvě části, a to na kompaktní, kdy proud vody urazí v kompaktním stavu $1/2$ až $2/3$ dráhy letu, a na proud roztříštěný. Síla, rychlost a kompaktnost proudu se dosahuje pomocí vhodně zvoleného tlaku před proudnicí a tvaru výtokové trubice. Do proudnice se umísťují usměrňovací prvky, které maří cirkulační složku, a tím se zabráňuje rozšíření paprsku po výstupu z trubice [9].

Výtok kapaliny z potrubí

Jde o jakékoliv výpustné zařízení, kterým se z oblasti vyššího tlaku vypouští voda do ovzduší, ať už jde o otvor či trysku na roztříštěný vodní proud. Vychází se zde ze vztahu (3.1) pro výtok malým otvorem z potrubí [9].

$$Q = \mu \cdot S_o \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_i - p_o)}{\rho}} = \mu \cdot S_o \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (3.1)$$

3.2 Roztříštěný proud kapaliny

Roztříštěný proud kapaliny vychází z výstřikové hadice či trysky již v rozptýleném stavu. Tento proud nelze považovat za kompaktní ani vodní mlhu, vzniká průtokem kapaliny konstrukčně upravené výtokové trysky. Dalším způsob rozpadu kompaktního proudu je tehdy, kdy se setká s ovzduším. Na vodní proud začnou působit třecí síly ovzduší a dojde ke změně rychlostního profilu proudu. Na rozhraní proudu a ovzduší se vytvoří povrchové vlny, které zapříčiní oddělení velkého množství kapek a pozvolnému rozpadu kompaktního proudu vody [6].

Tento typ proudu se používá tam, kde je třeba skrápět velké plochy a zvýšit chladicí účinek při menším odběru vody než u kompaktního proudu. Nevýhodou je odpařování vody při hašení požáru vysokých teplot [9].

3.3 Vodní mlha

Je roztříštěný vodní proud na malé kapky vody. Podle velikosti kapek se posuzuje kvalita vodní mlhy. Čím je velikost kapek menší, tím větší je povrchová plocha, která pohlcuje teplo, a tím se zvýší chladicí účinek vody. Velikost kapiček vody je v rozmezí 0,1 až 0,8 mm. Vodní mlha se tvoří pomocí:

- vysokého tlaku
- nárazem na překážku
- vzájemným tříštěním vodních paprsků
- rotací proudu vody v tryskové komoře, před jejím opuštěním do prostoru

Výhodou je nízká spotřeba vody při stejném hasícím účinku jako u předchozích typů proudu. Roztříštěná voda dopadá na ohnisko požáru a odebere velké množství tepla. Odpaření kapiček vody vytvoří velké množství vodní páry, jež zabrání přístupu vzduchu v ohnisku, a pomáhá tak oheň uhasit. Nevýhodou je velmi malý dostřik kapaliny. Pronikající schopnost proudění proti vzduchu je velmi malá [9].

3.4 Zjistitelné parametry vodního proudu

Při průběhu vodního proudu je možné zjistit následující parametry:

- trajektorie

- hranice proudu
- velikost kapky
- objemový průtok
- tlak před tryskou

Objemový průtok je zjistitelný experimentálně, například pomocí odměrné nádoby. Hranice proudu a trajektorie se zjišťuje fotograficky nebo za pomoci výpočtu. Tlak před tryskou se určuje např. pomocí Pitotovy trubice nebo výpočtu.

4. Trysky

Tryska je mechanický prvek, který nám slouží ke změně průtoku a rychlosti dodávaného média na výstupu ze zařízení. Je to koncová a nejdůležitější část nejrozličnějších rozprašovacích zařízení a má široké využití v zemědělství, požární praxi a těžkém i chemickém průmyslu. Měla by nám zajistit rovnoměrnou intenzitu skrápěné plochy.

Rozděluje se podle mnoha faktorů, jako jsou rozsah tlaků, průtok média, pracovní podmínky, pracovní účel, vzdálenosti od postřikovaného materiálu a hlavně charakter rozstříku. Důležité je i rozdělení podle materiálu. Nejpoužívanější jsou trysky vyrobené z plastu, keramické, mosazné a nerezové. Při výrobě je nutné dodržet vysokou kvalitu trysek a jejich vlastností. Měly by mít velkou odolnost proti opotřebení a nezbytnou chemickou odolnost [7].

4.1 Odstředivé trysky

Trysky pro rozprašování kapalin pomocí odstředivé síly mají využití v různých oblastech průmyslu, jako například rozprašování kapalin či paliv, hašení vodní mlhou, chlazení materiálu či plynu nebo nanášení kapaliny na materiál. Jsou v různých konstrukčních provedeních, podle kterých se následně určuje jejich využití. Hlavní principy pro vytváření mlhy z kapaliny jsou [7]:

- odstředivý princip
- interakce dvou a více proudů rozprašované kapaliny
- vnášení kapaliny ejekčním účinkem do nosného proudu
- proud vody s nárazem na mřížky umístěné na výstupu z trysky
- pomocí vložek vložených na výstupu z trysky

Odstředivá tryska souvisí se zavedením kapaliny do tryskové komory, kde je kapalina uvedena do krouživého pohybu, a odstředivou silou natlačena na koncovou část, která je tvořena nejprve zúžením a poté výstupní částí válcovitého tvaru. Kapalina se dostává do komory buď tangenciálním přívodem, jehož osa je vůči ose trysky ve vzdálenosti r_k , či pomocí osové vírové složky v . V komoře trysky dochází k intenzivní rotaci, která je charakterizována unášivou složkou rychlosti u . Základní rovnice pro odstředivou rychlost odvodil Abramovič a vychází ze zákona zachování hybnosti (pro ideální kapalinu) [4].

$$U_R = v_K \cdot r_K \quad (4.1)$$

Kde: U_R je tangenciální rychlost

v_K je rychlost v přívodních kanálech na poloměru r_K

Poblíž osy trysky se vytvoří malý tzv. vzdušný vír. Průtok v trysce je tu chvíli tvořen mezi kruhovou plochou, která je definována jako:

$$S_T = \pi \cdot (r_T^2 \cdot r_{VZ}^2) = \varphi \cdot \pi \cdot r_T^2 \quad (4.2)$$

Ze vzorce plochy mezikruží je dále odvozen výpočet pro součinitel zaplnění trysky φ . Při malých hodnotách součinitele zaplnění je činná plocha výtokového otvoru malá, zatímco při velkých hodnotách φ , kdy je poloměr vzduchového víru r_{VZ} malý, se energie spotřebovává na vytvoření tangenciálních rychlostí, které vedou k malým rychlostem v osovém směru.

$$\varphi = 1 - \left(\frac{r_{VZ}}{r_T} \right)^2 \quad (4.3)$$

Ve zúžené části komory se vytvoří velká unášivá rychlost kapaliny na výstupu z válcovité části.

$$v = \frac{Q_v}{\pi \cdot r_T^2 \cdot \varphi} \quad (4.4)$$

To zapříčiní, že kapalina vytvoří kuželovou plochu, která se rozpadá na proud vodní mlhy. Typickou vlastností odstředivé trysky je to, že protékající kapalina získává moment

hybnosti vzhledem k ose trysky. Jedná se o nejčastější konstrukční provedení, ty se však mohou lišit podle výrobce či požadavku zadavatele [4].

Ze znalosti objemu vody v jednotlivých komorách lze vypočítat intenzitu ostříku. Ta udává množství vody dopadající na chlazené místo za daný časový interval. Vypočet je prováděn dle následujícího výpočtu.

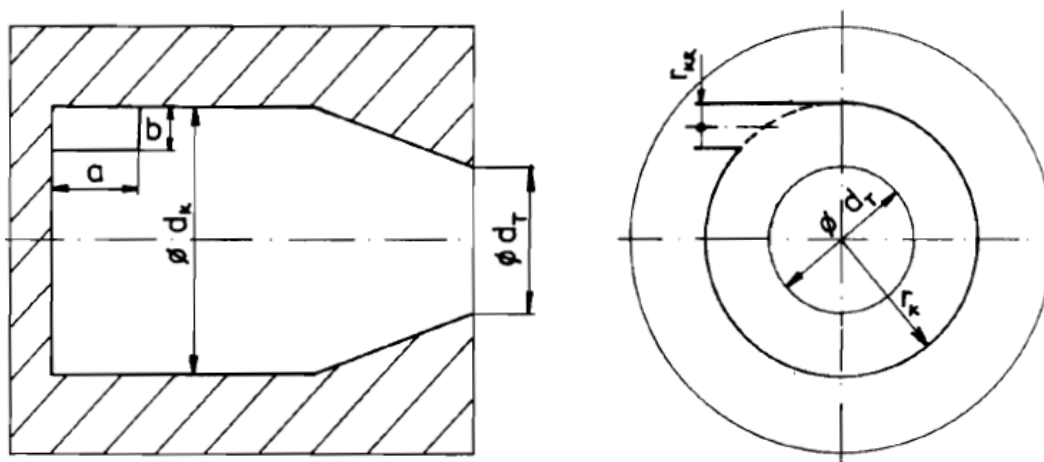
$$l = \frac{V}{S \cdot t} = (m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}) \quad (4.5)$$

Kde: V - objem vody (m^3)

S - ostřikovaná plocha (m^2)

t - doba ostříku (s^{-1})

Odstředivá tryska se středovým otvorem je zbavena nevýhody klasické odstředivé trysky, která nemá rozložení media v kuželech rovnoměrné. Pokud je tryska se středovým otvorem navržena správně, je uvnitř kužele rozložení kapek téměř rovnoměrné [4].



Obr. 4.1 Odstředivá tryska [4]

4.2 Chladicí trysky

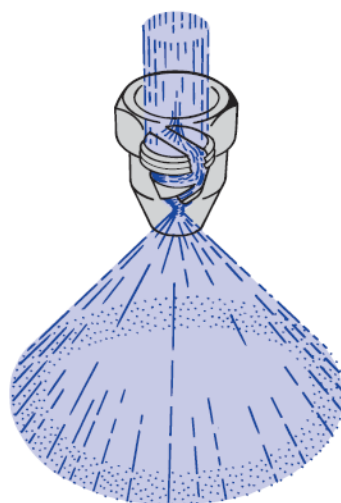
Nejčastějším typem chlazení je jednosložkové chlazení, kde je jako chladicí medium používána voda. Pro dvousložkové chlazení se tryska značně liší v tom, že v tělese trysky dochází ke směšování dvou chladících medií, nejčastěji to bývá kombinace vzduchu a vody. Výhoda této metody je v jemnějším rozprášení vody a tvorbě mikroskopických kapiček vody, které po dopadu na chlazený materiál zajišťují lepší

odvod tepla. Nevýhodou je však vyšší energetická a provozní náročnost. Dle typu konstrukce a ostřikované plochy můžeme tyto trysky rozdělit na [5]:

- kuželové (dutý nebo plný kužel)
- štěrbinové (standardní, nízkoúletové, bublinkové)

4.2.1 Trysky s rozstříkem dutého kužele

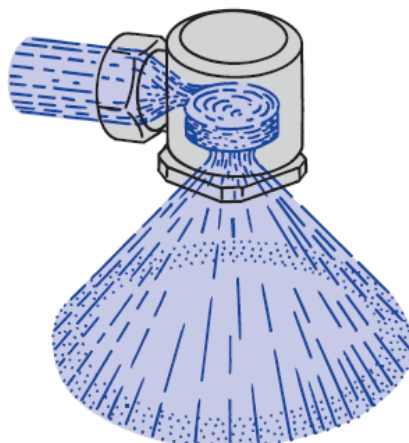
Dělíme je podle způsobu proudění vně trysky na axiální a excentrické. Axiální trysky s rozstříkem dutého kužele se používají tam, kde potřebujeme získat rovnoměrný rozstřík media. Jsou vhodné pro chlazení a čištění plynu, absorpčních procesů, odstraňování prachu, zvlhčování zboží a rozprašování oleje. Vyznačují se vysokou účinností. Maximální úhel rozstříku je 90° spirálovité drážky ve vestavném tělisku způsobí cílené rozložení kapaliny. Při obzvláště úzkém kapkovém spektru se povrch kapek rozprašovaného media silně zvětší a vytvoří dobré podmínky pro procesy látkových výměn [6].



Obr. 4.2 Axiální tryska s plochým rozstříkem [6]

Excentrické trysky mají odlišnou geometrii oproti axiálním tryskám. Excentrickým způsobem nátok do vnitřní válcové části trysky je kapalina roztáčena. Ta se díky rovnoměrnému rozdělení začne rozstříkovat do okolí pod úhlem 130° . Má větší vnitřní průřezy a hrubší kapky. Jsou samočisticí a velmi spolehlivé, také při špatné kvalitě proudícího média. Díky těmto vlastnostem jen zřídka kdy dojde k ucpání trysky, a proto se hodí k použití v těžkém průmyslu, kde bývá kapalina velmi často znečištěna. Dále se

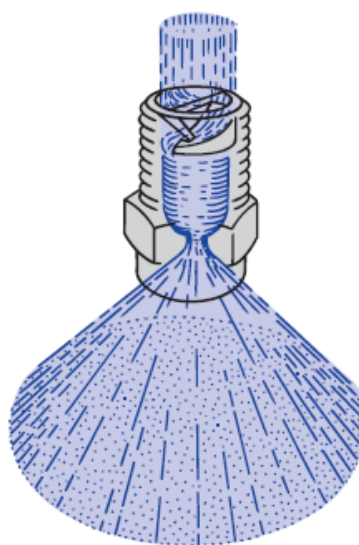
používá při čištění plynu, ve výrobních a technologických procesech a v procesech ochrany životního prostředí [6].



Obr. 4.3 Excentrická tryska s plochým rozstříkem [6]

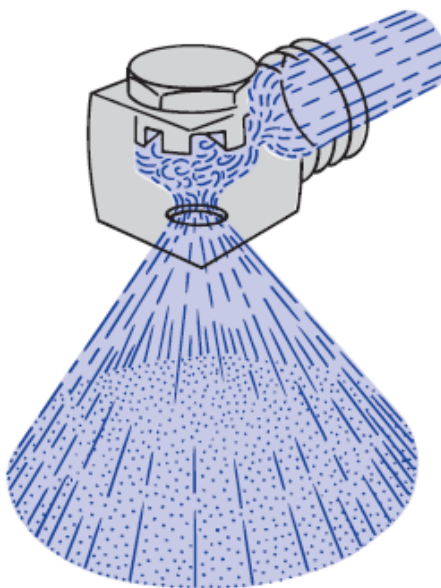
4.2.2 Trysky s rozstříkem plného kužele

Tyto trysky dělíme podle geometrie proudění uvnitř prvku na axiální, tangenciální, svazkové a trysky s odražejícím diskem (talířem). Axiální trysky mají vysokou rozptylovací schopnost, která je zde docílena pomocí rotace média před zúženou částí trysky. Vyznačují se velkým objemovým a průtočným množstvím s úhlovým rozsahem rozstříku 50° - 120° . Používají se především k chlazení plynu a materiálu v těžkém průmyslu a v technologických procesech. Tyto trysky nám musí zaručit rovnoměrné rozptýlení kapaliny po celé spodní ploše kužele z důvodu rovnoměrného chlazení.



Obr. 4.4 Axiální tryska s rozstříkem plného kužele [6]

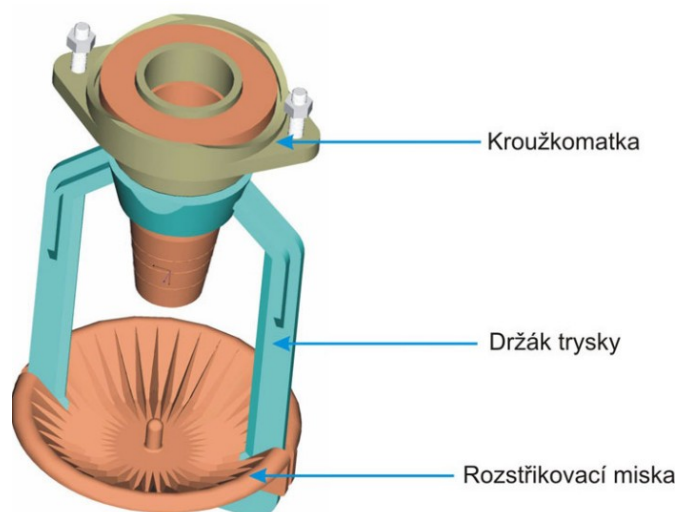
Tangenciální trysky jsou vhodné pro rozprašování cirkulovatelných kapalin s vysokým obsahem pevných látek nebo pro požární ochranu. Tangenciálně přivedené médium do vířivé komory začne velice rychle rotovat a zúženým koncem pod tlakem je vyháněno ven z trysky. Největší výhodou těchto trysek je, že pracují bez vnitřní vestavby, a díky tomu nejsou náchylné k ucpání. Charakter rozstříku je docílen speciálními drážkami v těle trysky, které napomáhají k soustředění chladicího média do středu paprsku, čímž je dosaženo rovnoměrné pokrytí skrápěné plochy se stabilním úhlem [6].



Obr. 4.5 Tangenciální tryska s rozstříkem plného kužele [6]

4.2.3 Trysky s odrážecím talířem

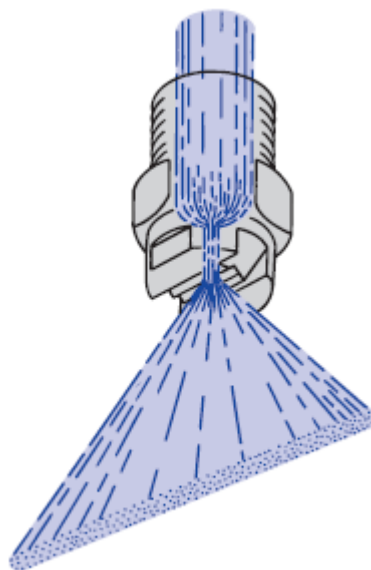
Trysky s odrážecím talířem se používají pro velké chladicí věže, koksárenství a technologická zařízení. Chladicí médium jde z výstupní válcové části pod tlakem hnáno na odrážecí disk, který je umístěn několik centimetrů od výstupu. Disk je v kolmé poloze k výstupní části z důvodu rovnoměrného rozstříku po celém obvodu. Jejich konstrukce může být odlišná podle požadavku na rozstřík a jeho intenzitu. Diskové odrážecí desky média můžou mít zkosený tvar a být kladeny pod sebou i tři odrážecí desky. Tyto trysky mají veliký výstupní průměr, s tím souvisí jejich velká odolnost proti silně znečištěným kapalinám.



Obr. 4.6 Tryska s rozstřikovací miskou [8]

4.2.4 Trysky s plochým rozstřikem

Využívají se v čištění, chlazení a ostřík trubek či válců, chlazení odlitků nebo k nanášecím procesům. Mají široký pracovní úhel, který lze regulovat. Výstupní otvor se z válcové části změnil na zúžený obdélníkový průřez. Vycházející medium má poté tvar paraboly. Dopadající paprsek může mít i různé tvary jako například lichoběžník, elipsa nebo kosočtverec. Zvláštní formou plošných trysek jsou jazýčkové. U těchto trysek dopadá paprsek na šikmou plochu, která proud media přesměruje dál a vznikne ostře ohraničený paprsek. Podle šikmé plochy se určuje chování paprsku. Díky velkým vnitřním průřezům jsou také odolné proti silně znečištěným kapalinám [6].



Obr. 4.7 Tryska se zúženým rozstřikem [6]

5. Vícefázové proudění

Velké množství aplikací v přírodě a v průmyslových technologiích se týká směsi fází. Jako fázi předpokládáme plyn, kapalinu, pevnou látku. Ve vícefázovém proudění je fáze definovaná jako identifikovatelný materiál, který má odezvu na interakci s prouděním, ve kterém se právě nachází [10].

Do vícefázového proudění se zahrnují řešení následujících problémů: aretace, kavitace, vlnění vodní hladiny, extrakce, separace, sedimentace, homogenizace, hydraulická a pneumatická doprava, nukleární reaktory, promíchávání, spalování a odpařování [10].

Prakticky se lze setkat s různými variantami vícefázových systémů:

- Plyn-Kapalina, Kapalina-Kapalina
- Plyn-Pevná látka
- Kapalina-Pevná látka
- Tří-fázové proudění

Plyn-Kapalina, Kapalina - Kapalina režimy

Bublinné proudění: je to tok oddělených plynných nebo kapalných bublin v kapalině.

Proudění kapek vody: Je to tok kapaliny v oddělených kapkách v kontinuální tekutině.

Pomalý tok velkých bublin v kontinuální tekutině.

Volná hladina: Je to tok navzájem se nemísitelných kapalin a oddělených jasně definovaným rozhraním.

Plyn-Pevná látka režimy

Tok samostatných pevných částic v plynu. Pneumatická doprava: je to modelový tok, který závisí na faktorech Reynoldsova čísla, vlastnosti částic. Model je typický pro dopravu sypaných materiálů a pro homogenní tok.

Kapalina-Pevná látka režimy

Suspenzní tok: Jedná se o tok částic v kapalinách. Základní chování toku kapalina-pevná látka se liší podle vlastností pevných částic. V suspenzním toku je Stokesovo číslo obvykle

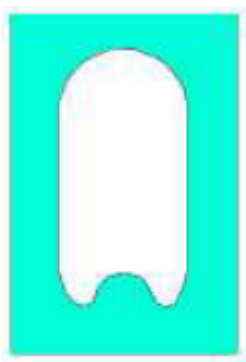
menší než 1. Když je Stokesovo číslo větší než 1, je charakteristika toku kapalina-pevná látka fluidizační.

Hydro-transport: Popisuje hustotu rozložení pevných částic v kontinuální kapalině.

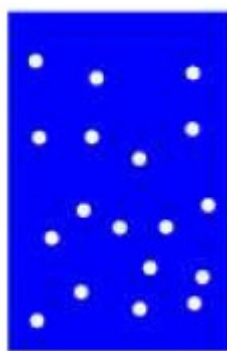
Sedimentace: Popisuje vysoký sloupec částic, který nejprve obsahuje rozptýlenou směs částic, a poté v dolní oblasti se částice zpomalí a usazují. Vytvoří vrstvu kalu. Mezi těmito dvěma procesy je konstantní usazovací zóna [12].

5.1 Tří-fázové proudění režimy

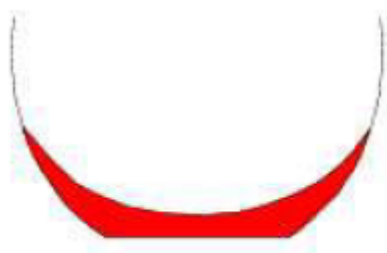
Jedná se o kombinaci všech předchozích režimů. Může nastat situace, kdy se tři rozdílné látky navzájem promíchávají, nebo jsou společně dopravovány. Níže jsou uvedeny všechny možnosti třífázových režimů, které můžou nastat [12].



Velké bubliny



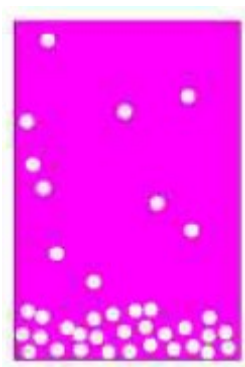
bubliny, kapky, částice



Volný povrch



Pneumatická a hydraulická doprava



Sedimentace



Fluidizační pole

Obr. 5.1. Příklady třífázového proudění [12]

5.2 Příklady vícefázových systémů

Kapky vody: rozprašovače, spalovací komory, kryogenní čerpání, sušičky, chlazení plynu.

bubliny: kavitace, čerpadla, výparníky, větrání

Tok velkých bublin: velká bublina pohybující se v potrubí či nádrži

Pneumatické příklady přepravy: cement, zrní, kovové částičky, dřevo

Hydro-transportní příklady: zahrnují dopravu a zpracování kapalin v biomedicínských, fyzikálních a chemických kapalných systémech

Sedimentace: zpracování minerálů

Částice: Příklady toků částic jsou pro převážně prašná prostředí, pro klasifikace znečištění vzduchu a pro toky v oblasti životního prostředí.

5.3. Výpočetní modely vícefázového proudění

Prvním krokem při řešení vícefázového modelu je určit, který z režimů nám poskytuje hlavní směr k určení vhodných modelů a k určení úrovně mezifázového spojení pro toky bublin, částic nebo kapek. V současné době existují dva přístupy k numerickému výpočtu vícefázových toků [12]:

- Euler - Lagrange
- Euler - Euler

Euler-Lagrange

Při Euler - Lagrangeově přístupu je tekutá fáze uvažována jako kontinuum a je řešena Navierovými - Stokesovými rovnicemi, zatímco dispergovaná fáze (částice) je řešena stopováním velkého počtu částic, bublin nebo kapek v proudovém poli. Tato dispergovaná fáze může vyměňovat moment, hmotu a energii se spojitou fází. Základním předpokladem je, že v tomto modelu dispergovaná fáze zaujímá malý objemový zlomek, ačkoliv pro hmotnost, resp. hmotnostní průtok to nemusí platit. Trajektorie (dráhy) částic nebo kapek jsou počítány individuálně v předdefinovaných intervalech během výpočtu spojitě fáze. Toto umožňuje modelovat proudění částic ve sprejích, sušičkách, spalování uhelných a kapalných paliv a částicemi ovlivněné proudění. Je nevhodný pro modelování směsi kapalina - kapalina, fluidizačního lože a dalších aplikací, kde objemový zlomek druhé fáze není zanedbatelný [11].

Euler-Euler

Při Euler-Eulerově přístupu jsou různé fáze řešeny matematicky jako vzájemně se prostupující kontinua. Protože objem jedné fáze není překryt objemem druhé fáze, je zaveden pojem objemového zlomku fáze. Tyto objemové zlomky se předpokládají jako funkce spojitě v čase a prostoru a jejich součet je roven 1. Rovnice jsou definovány pro každou fázi. Euler-Euler k řešení nabízí tři různé vícefázové modely. Každý z těchto modelů má své typické aplikace a také klady a zápory [11].

- VOF (Volume OF fluid)
- Mixture model (Model směsi)
- Eulerian

VOF model

Pomocí tohoto modelu se může řešit proudění dvou a více nemísitelných kapalin řešením pohybové rovnice a sledováním objemového zlomku každé kapaliny v oblasti. Typické aplikace modelu VOF jsou stratifikované (vrstvené) proudění, plnicí toky, pohyb velkých bublin v kapalině, předpověď tryskového rozpadu kapaliny a stabilní nebo přechodové rozhraní kapaliny [12].

Mixture model

Tento zjednodušený vícefázový model lze použít k modelování vícefázového proudění, kde se jednotlivé fáze pohybují odlišnou rychlostí. Vazba mezi fázemi musí být silná. Toho se využívá při modelování homogenního vícefázového proudění a také, když

obě fáze mají stejnou rychlost toku. Je schopný modelovat i proudění neNewtonských kapalin. Model mixture může modelovat n -fázi (částice nebo kapalina) řešením rovnice kontinuity, pohybové rovnice, rovnice energie pro směs a rovnice objemového zlomku pro dispergovanou fázi. Nejčastější aplikace k modelu mixture jsou částice s nízkým zatížením, bublinové proudění, kde objemový zlomek je nízký, obtékání, sedimentace, směšování. Může být také použit bez relativní rychlosti pro rozptýlené fáze modelování homogenního vícefázového toku [12].

Eulerův model

Dovoluje nám modelování vícenásobných oddělených interaktivních fází. Fáze mohou být tekutina, plyn a pevné částice v různých kombinacích. U toho modelu je počet dalších fází limitován pouze nároky na paměť počítače a konvergenci řešení. Je nejsložitější z těchto tří modelů. Řeší n rovnic hybnosti a kontinuity pro každou fázi. Vazby je dosaženo pomocí výměny koeficientů tlaku. Způsob, jakým způsobem jsou tyto vazby zpracovány, závisí na typu etap [10].

- granulární (tekutina-pevná látka)
- nongranulární (kapalina-kapalina)

Pro zrnité toky jsou vlastnosti získány z aplikace kinetické teorie. Typickou aplikací Eulerova modelu jsou bublinky, suspenze částic, fluidizační pole. Při výběru matematického modelu je důležité určit, kdy je výhodnější využití modelu mixture (směsí) a kdy Eulerův model [10].

- Když je očekáván velký výskyt dispergované fáze, pak je preferován model mixture. Ten není tak náročný na výpočet jako Eulerův model. Pokud je dispergovaná fáze koncentrovaná jen v určité oblasti, je výhodnější využít Eulerův model.
- Pokud víme, že bude nutné nastavit v systému odpor proti pohybu, je výhodnější využít Eulerův model, který nám poskytne přesnější výsledky než model mixture. Když známe odporové koeficienty nebo jejich použitelnost na zkoumaný systém, je lepší využít model mixture (směsí).
- Při volbě modelu je třeba uvažovat náročnost modelu. Pro jednodušší model je vhodnější využít model mixture, protože řeší menší počet rovnic než Eulerův model, který je ale výpočtově přesnější.

- Pro snadnější identifikaci výpočtového modelu se zjišťují hodnoty hmotnostní konzistence, podílu hustot (který je větší než 1000, je pro fáze plyn - pevná látka, kolem hodnoty 1 pro fázi kapalina - pevná látka a menší než 0,001 pro fázi plyn - kapalina) a vzdálenosti mezi částicemi.

Průměrná vzdálenost mezi částicemi je parametr důležitý k určení chování dispergované fáze. Interakce mezi fázemi dělíme na tři kategorie a závisí na velikosti β .

$$\frac{L}{d_d} = \left(\frac{\pi}{6} \cdot \frac{1+k}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{kde, } k = \frac{\beta}{\gamma} \quad (5.1)$$

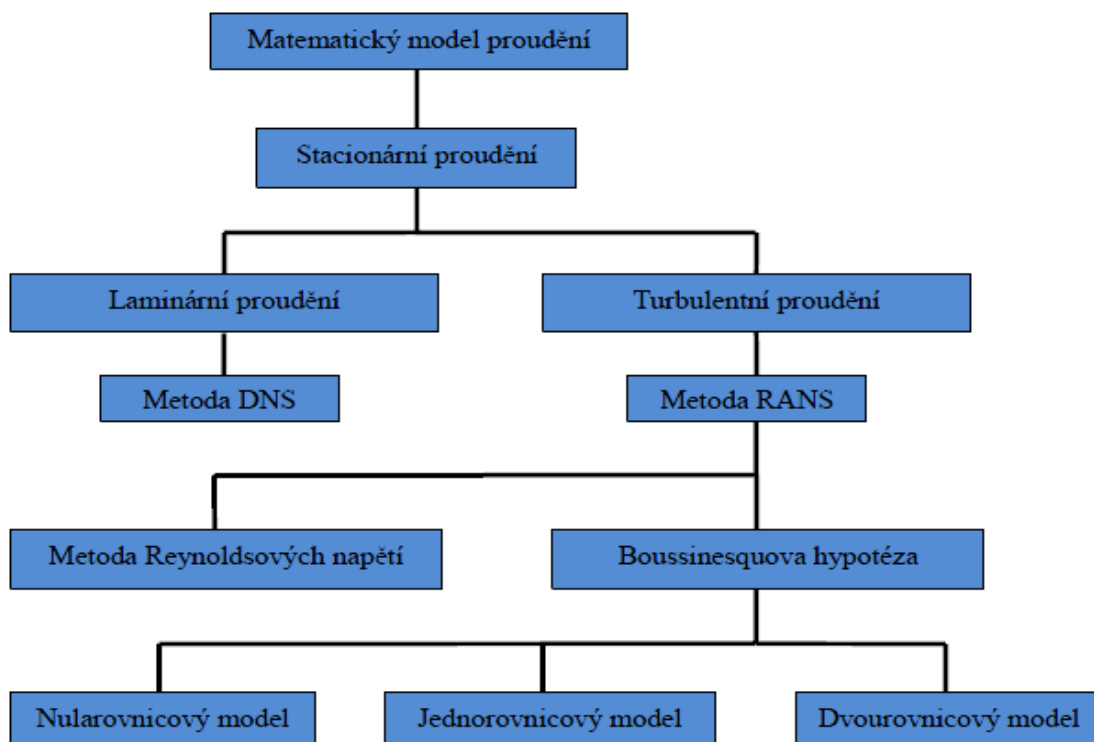
- Pro malé β je vztah mezi fázemi jediným směrem. To znamená, že spojitá fáze ovlivňuje částice přes odpor a turbulenci, ale částice neovlivňují spojitou fázi.
- Pro střední hodnoty β je vztah mezi fázemi dvousměrný. Spojitá fáze ovlivňuje částice a částice ovlivňují spojitou fázi. Pro tento typ je nutné uvážit i hodnotu Stokesova čísla.
- Pro vyšší hodnoty β je vztah mezi fázemi dvousměrný. Musí se uvažovat tlak a viskózní napětí.

Stokesovo číslo je definováno jako vztah mezi časovou odezvou a odezvou systému:

$$S_t = \frac{\tau_d}{t_s} \quad (5.2)$$

6. Modely turbulence k-ε

Základní problém při výpočtu turbulentního proudění spočívá v přítomnosti Reynoldsova napětí ve středovaných Navierových - Stokesových rovnicích. Systém matematických rovnic tak není uzavřen jako u laminárního proudění. Soubor přídatných rovnic a empirických vztahů, které společně s pohybovými rovnicemi tvoří řešitelný systém rovnic, se nazývá modelem turbulence. Modely turbulence lze rozdělit do několika skupin [13].



Obr. 6.1 Rozdělení matematických modelů [13]

Základem celé skupiny turbulentních modelů je Boussinesquova hypotéza. Tyto modely řeší hodnotu turbulentní viskozity pomocí dodatkových rovnic. Podle počtu diferenciálních rovnic rozdělujeme modely na jednorovnicové a dvourovnicové.

6.1 Dvourovnicové modely turbulence

Model $k-\varepsilon$

Obecně jsou řešeny dvě diferenciální rovnice. První se zabývá rovnicí pro turbulentní kinetickou energii k . Druhou rovnicí popisujeme rozpad a zánik turbulentních vírů, disipace. Proto bude řešena rychlost disipace ε . Z toho vyplývá název $k-\varepsilon$ model. Tuto rovnici je nutné odvodit z Navier-Stokesových rovnic. Tento model využívá Boussinesquovy hypotézy o vírové viskozitě, kde vztahuje μ_t ke k , ε a C_μ což je empirická konstanta [13].

$$\mu_t = C_\mu \cdot \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6.1)$$

Model $k-\omega$

Model $k-\omega$ řeší stejně jako $k-\varepsilon$ dvě dodatkové diferenciální rovnice. Rychlostní měřítko turbulence je řešeno pomocí kinetické energie k . Délkové měřítko turbulence je

řešeno za pomoci veličiny nazývané vířivost (s^{-1}). Vířivost nám udává míru rotace kapaliny v daném bodě proudového pole. Tento model se běžně používá pro proudění s nízkými hodnotami Reynoldsova čísla a úlohy s přechodovým režimem proudění, kde není vyvinuta turbulence. Nevýhodou je velká citlivost na podmínky ve volném proudu [13].

$$\mu_t = a^* \cdot \frac{k}{\omega} \quad (6.2)$$

Ansyes fluent nabízí tři možnosti modelu turbulence v souvislosti s k - ϵ a k - ω modely: Mixture model, rozptýlený model turbulence (dispersed turbulence model), nebo model turbulence Per-fáze. Kromě toho nabízí systém ještě dvě možnosti v rámci modelu Reynolds (RSM). Jsou to RSM mixture model a RSM dispersed model. U obou kategorií modelu závisí na významu sekundární fáze [12].

Mixture model

Popisuje první nastavení k - ϵ modelu a je použitelný, když jsou jednotlivé fáze oddělené, rozvrstvené a hlavně je-li poměr hustot mezi fázemi v blízkosti 1. Pokud jsou tyto podmínky splněny, je tento model dostatečný k zachycení důležitých vlastností turbulentního proudění.

Dispersed turbulence model k - ϵ

Rozptýlený model turbulentního proudění je vhodný tehdy, je-li koncentrace sekundární fáze ředěna v první fázi. V tom případě jsou interpartikulární kolize zanedbatelné a dominantní je při pohybu celou soustavou první fáze. Tento model se používá tehdy, když víme, že se primární fáze rozprašuje či ředí v druhé [12].

Předpoklady:

- upravený model k - ϵ pro spojitou fázi
- pro spojitou fázi jsou předpoklady získány pomocí standardního k - ϵ modelu, který je doplněný o podmínky, jež zahrnují přenos hybnosti

Model k - ϵ pro každou fázi (k - ϵ Turbulence Model for Each Phase) je nejobecnější vícefázový model, který řeší soubor přenosových rovnic pro každou fázi zvlášť. Tento model je vhodnou volbou, kdy turbulentní přenos mezi fázemi je podstatný.

6.2 RSM - Turbulentní model

Vícefázový model obvykle zahrnuje dvě rovnice modelu, které jsou založeny na jednofázových modelech, a často z nich nelze zachytit fyzikální vlastnosti proudění. Pokud není možné zachytit komplexní fyzikální vlastnosti proudění, je dalším krokem spojit Reynoldsův zátěžový model (Reynolds stress model) s vícefázovým algoritmem s cílem zvládnout složité výpočtové situace, ve kterých se oba tyto faktory nacházejí. RSM model řeší přepravní rovnice. V programu Ansys fluent jsou na výběr dvě metody modelování vícefázového modelu ve spojitosti s RSM [12].

- RSM dispersed turbulence model
- RSM mixture turbulence model

RSM dispersed model

Tento model se používá tehdy, když je koncentrace sekundární fáze rozředěna a primární fáze je v procesu dominantní. V důsledku toho jsou přenosové rovnice pro turbulentní veličiny řešeny jen pro první fázi, zatímco podmínky pro rozptýlenou fázi jsou získány pomocí teorie Tchen [12].

RSM mixture model

Hlavním předpokladem pro tento model je, že všechny fáze sdílejí stejný turbulentní prostor, to znamená, že se zanedbává RSM přenosová rovnice. Rovnice si zachovávají stejný tvar, ale jsou nahrazeny vlastnostmi směsi [12].

7. Modelování diskretní fáze (Discrete Phase)

Tento výpočtový model nám umožňuje kromě řešení transportních rovnic spojitě fáze také simulovat druhou diskretní fázi. Tato druhá fáze se skládá z kulovitých částic, do kterých mohou být zahrnuty kapky vody nebo bubliny rozptýlené ve spojitě fázi. Pomocí tohoto modelu Ansys Fluent počítá trajektorie těchto diskretních fází a také přenos tepla a hmoty. Částice nejsou modelovány jednotlivě, ale jsou definovány vzorky, charakterizující dostatečné proudění. Je možné řešit následující varianty [12].

- výpočet trajektorie pomocí Lagrangovy formulace, která zahrnuje fázi setrvačnosti, hydrodynamický odpor a gravitační sílu jak pro stacionární proudění, tak i pro nestacionární proudění
- předpověď turbulentních vlivů na rozptýl částic v důsledku turbulentních vírů přítomných v první fázi
- ohřev a chlazení diskretní fáze
- odpařování a var kapalin
- simulaci spalování uhlí
- rozstřík vody, vznik kapek
- zohlednění kolize částic v obou fázích

Tyto schopnosti umožňují simulovat celou řadu problémů diskretní fáze, včetně separace částic, třídění, rozprašování, pohyb bublin v kapalině, spalování paliva a mnoho dalších. Celkový průtok částic je modelován tak, že sleduje malý počet částic pohybující se ve spojitě fázi. Částice se pohybuje z bodu, ze kterého je vypuštěna (Injection), až do opuštění oblasti. Hydrodynamický odpor a gravitace ovlivňuje pohyb částic (kapek, bublin, pevných částic). Přestup tepla a hmoty při pohybu částic je definován soustavou klasických diferenciálních rovnic podle času a obsahující další doplňkové rovnice rychlosti, teploty a hmotnosti částic. Tyto rovnice slouží k tomu, aby se vypočetlo chování částic napříč oblastí. Částice a spojitá fáze se mohou navzájem ovlivňovat [12].

Rovnice pohybu částic:

Rovnováha sil při použití Lagrangova přístupu:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D \cdot (u - u_p) + \frac{g_x}{\rho_p} (\rho_p - \rho) + F_x \quad (7.1)$$

kde F_x je vnější objemová síla

$F_D (u-u_p)$ je síla hydrodynamického odporu vztažná na jednotku hmotnosti částice.

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p \cdot D_p^2} \cdot \frac{C_D \cdot Re}{24} \quad (7.2)$$

u – rychlost kapaliny, u_p – rychlost částic, řešená integrací podle času, μ – molekulární viskozita kapaliny, ρ – hustota kapaliny, ρ_p – hustota částic, D_p – průměr částic

$$Re = \frac{\rho \cdot D_p \cdot |u_p - u|}{\mu} \quad (7.3)$$

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re} + \frac{a_3}{Re^2} \quad (7.4)$$

kde a_1, a_2, a_3 jsou konstanty pro určitý rozsah Re , definované Morsim a Alexandtem.

Turbulentní rozptyl částic

Disperze částic vlivem turbulence v kapalně fázi mohou být předpovězeny pomocí Stochatického sledovacího modelu (Random walk model) nebo cloud modelu. Sledovací model zahrnuje účinek okamžitých turbulentních fluktuací rychlosti na trajektorii částic použitím stochastických metod. Cloud model sleduje statistický vývoj mraku částic ve středu trajektorie. Výpočet trajektorií umožňuje sledovat vliv turbulence na rozptyl částic. Koncentrace částic v mraku je sledována pomocí Gausovy pravděpodobnosti fluktuace hustoty. Tento model nemůže být zahrnut do výpočtu, pokud je Spalart-Allmaras použit [12].

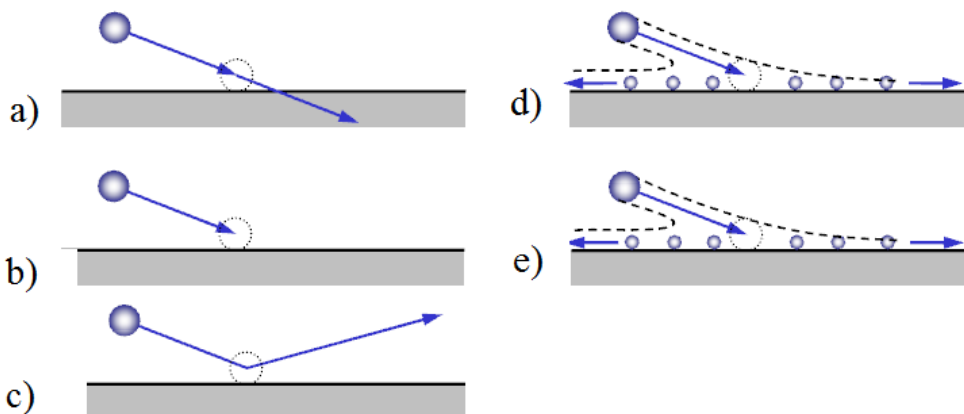
Omezení diskrétní fáze

Výpočtový model se používá za předpokladu, že se druhá fáze dostatečně ředí v první fázi. Z toho vyplývá, že diskrétní fáze musí mít poměrně malý objemový podíl, obvykle 10-12% (podíl částic v plynné fázi je zanedbatelný). Hmotnostní zatížení u diskrétní fáze může výrazně překročit 10-12%, tento problém můžeme vyřešit, když hmotnostní průtok diskrétní fáze je stejný nebo vyšší než kontinuální fáze. Cloud model není k dispozici pro nestabilní sledování částic a wall-film model je platný pouze pro tekuté materiály. Podle modelové situace je možné k dispersní fázi nastavit vícefázový model (volume of fraction, eulerian, mixtura) [12].

Okrajové podmínky na stěně pro diskrétní fázi

Když se částice svým pohybem dotkne nebo narazí na stěnu, mohou nastat následující varianty:

- Escape - částice projdou hranicí a poté se už nevyskytují v řešené oblasti
- Reflect - odraz částice od stěny s uvažováním pružné kolize
- Wall-Film - částice klouže podél stěny
- Wall-Jet - směr a rychlost kapek nebo částic jsou dány výslednou hybností toku, který je funkcí nárazového úhlu
- Pass - částice projde vnitřní oblastí jako je například porézní prostředí nebo radiátor
- Trap - přichycení částic ke stěně



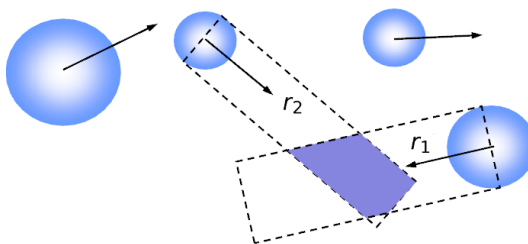
a) Escape, b) Trap, c) Reflect, d) Wall-Jet, e) Wall-Film

Obr. 7.1 Chování částice při nastavené stěnové podmínce [14]

7.1 Fyzikální modely pro diskrétní fázi

- Particle radiation interaction: Radiační a tepelné účinky na částice. Používá se pro radiační záření a tepelné přestupy z částic do volného prostoru a naopak. Je potřeba poté nastavit další vlastnosti částic (emisivita, rozptylový faktor).
- Thermophoretic force: Používá se, když na trajektorii částic působí thermophoretické síly. Je nutné nastavit thermophoretický koeficient pro daný materiál částic.
- Brownian motion: Pohybové účinky na částice. Určení trajektorie a pohybu částic v laminárním prostředí.
- Staffman lift force: Silové účinky na částice.

- Erosian/accretion: Eroze a zachycení částic na stěně. U této funkce je důležité vhodně nastavit stěnovou funkci a úhel dopadu částic.
- Two-way turbulence coupling: Vliv částic na turbulentní proudění. Částice vypuštěné do proudu mohou buď tlumit nebo způsobit turbulentní zavíření.
- Breakup: Rozpad vodního proudu. Vhodné pro modelování trysek nebo vstřikovávání, kdy se jedná o sledování a chování kapek kapaliny.
- Stochastic Collision a Coalescence: Využívá se tehdy, když simulace zahrnuje sledování, chování a pohyb kapiček. Částice se volně pohybují a můžou se navzájem ovlivnit. Pravděpodobnost kolize závisí na velikosti částic, rychlosti a průměru.



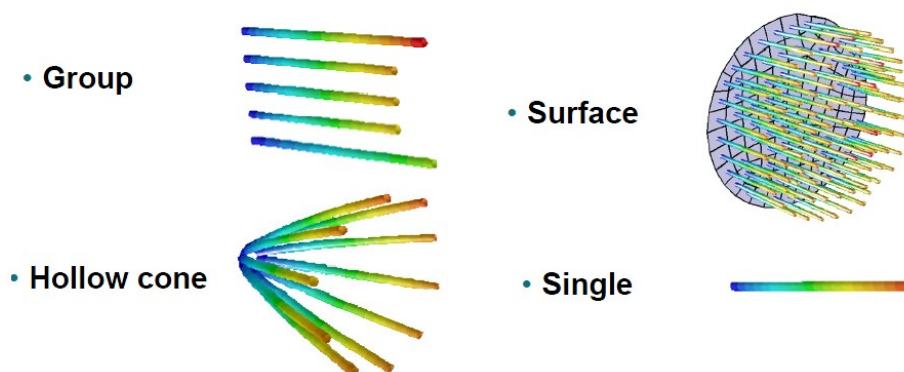
Obr 7.2 Kolize částic [14]

Injection types

Možnost definovat uvolnění diskretní fáze do prostoru. Při nastavení je na výběr 11 typů vstupu [12].

- single
- group
- cone (pouze s 3D geometrii)
- solid cone (pouze s 3D geometrii)
- surface
- plain-orifice atomizer
- preassure-swirl atomizer
- flat-fan atomizer (pouze s 3D geometrii)
- file
- effervescent-atomizer

Každé z těchto nastavení se musí uvážit podle situace, kterou výpočtový model potřebuje. Nejčastěji využívané vstupy jsou surface → z plochy, single → uvolnění z bodu a group → ohraničená oblast. U typu cone, který je využitelný pouze v 3D geometrii, můžeme nastavit vstup částic z dutého nebo plného kužele. Oproti jiným se zde nastavuje ještě úhel stěny kužele. Použití preassure-swirl atomizer je vhodné, když chceme něco pod velkým tlakem rozpráshit ze vstupního otvoru. Flat-fan atomizer je vhodný při modelování proudu vzduchu rozehnaného pomocí ventilátoru nebo podobného zdroje [12].



Obr. 7.3 Příklady vyobrazení vstupu částic do prostoru [14]

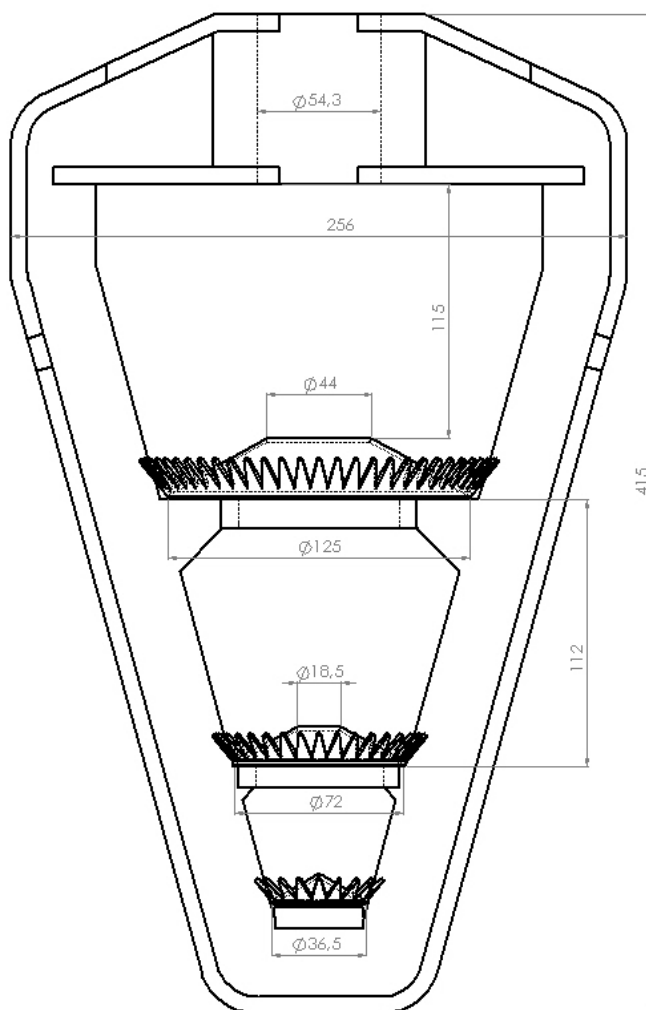
7.2 Typ částic (partical type)

Při tomto nastavení musíme vědět, v jakém skupenství bude diskrétní fáze. Máme na výběr pět různých možností nastavení. Zvolení závisí na fyzikálním modelu, který se definuje už v předchozím nastavení [12].

- **Massless (nehmotné částice):** Jedná se o částice, které nemají žádné přidružené fyzikální vlastnosti a není na ně vyvíjena žádná síla. Jsou to částice, které navazují na proud a teplo spojitě fáze.
- **Inert:** Používá se u částic, které se řídí zákonem o rovnováze sil (pevné částice, kapky, bubliny). Předmětem tohoto modelu je ohřev nebo chlazení.
- **Droplet:** Využijeme ho při modelování kapek pohybující se v plynné fázi. Můžeme sledovat trajektorii, postupné odpaření, ohřev, var, nebo chlazení.
- **Combusting:** spalování částic proudící ve spojitě fázi. Typ spalování je na výběr, pokud jsou modelovány nejméně tři chemické látky, které jsou aktivní.
- **Multicomponent:** Vícesložkové částice, směs kapek a pevných částic.

8. Modelování hasící trysky

Cílem praktické části diplomové práce je zjistit, jak velký je plošný rozstřík u zadané sprchovací trysky, a navrhnout konstrukční úpravy, které udělají trysku lépe funkční v provozu. Konstrukční úpravy se budou týkat vstupního průměru a velikosti vnitřního otvoru u prvního odrážecího talíře. Rozstřík při hašení je důležitý na jeho výsledné kvalitě, jak je popsáno v teoretické části Úvod do koksárenství. Rozstřík kapaliny do prostoru byl numericky modelován pomocí programu Ansys Fluent, který slouží k numerické simulaci. Dále jsem provedl experimentální měření zmenšeného modelu trysky, který byl zapůjčen od zástupců firmy.



Obr. 8.1 Hlavní rozměry trysky

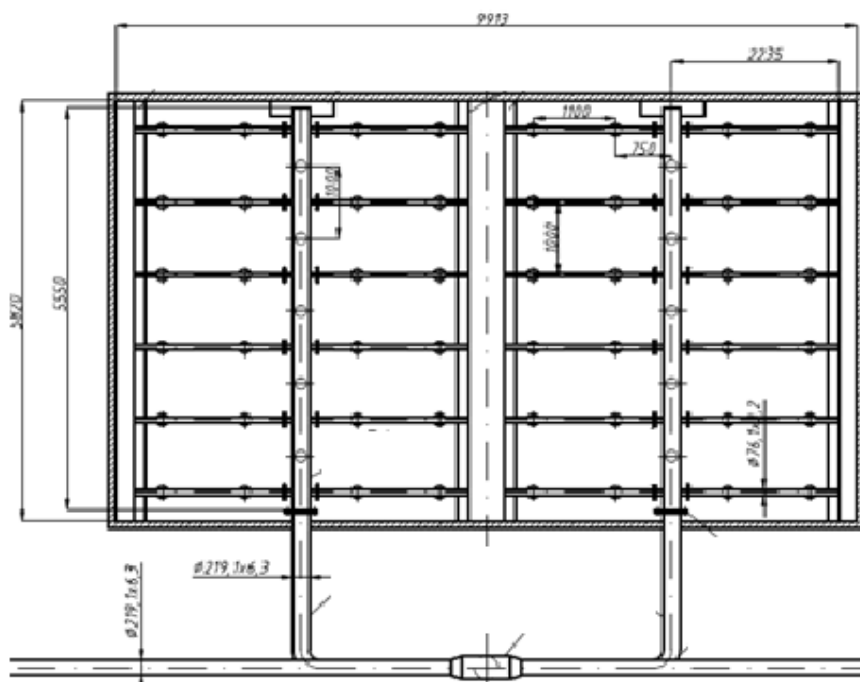
Zadavatel chce vyřešit problém se slabou intenzitou rozstříku trysek, které jsou umístěny v zadní části hasicího zařízení. U těchto trysek je výrazný pokles tlaku, než v přední části. Tento problém je možné řešit konstrukčními úpravami trysek v přední části.

Ty by se týkaly škrcením průtoku za pomoci zmenšení průměru vstupní části. Po setkání se zástupci firmy, jsem obdržel rozměry vnitřních průměrů, na které jsou schopni trysku upravit. Jedná se o změny průměru z 54,3mm na průměry 53,9mm, 53,1mm, 52,3mm a 50,3mm. Avšak tato úprava se týká také prvního odrážecího talíře, který po snížení vstupního průměru snižuje svoji účinnost. Cílem těchto úprav je, aby po zmenšení vstupního průměru byl zachován popřípadě se zlepšil plošný rozstřík.

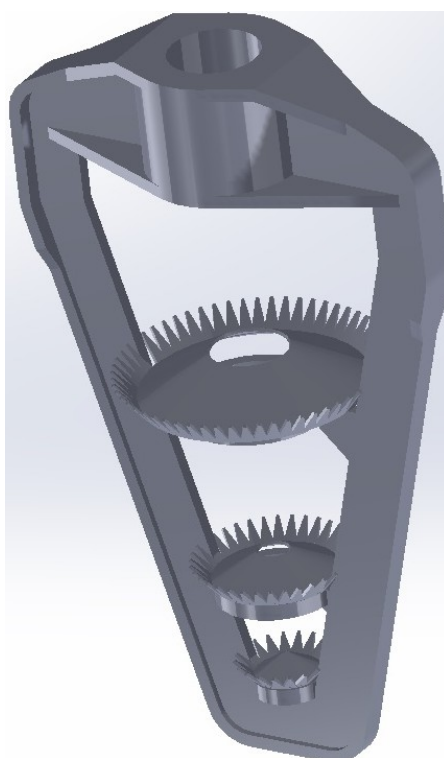
Tryska a její rozměry byly poskytnuty zadavatelem projektu viz obr. 8.1. Jedná se o trysku s odrážecími talíři, která v koksovací věži slouží jako sekundární hašení. První dva odrážecí talíře mají ve svém středu průchozí díru, kdy část kapaliny se odrazí od talíře a část proteče dále ke dvěma dalším talířům. Poslední odrážecí talíř o nejmenším průměru je bez vnitřního otvoru a s největším sklonem. Kapalina se dostává k talířům přes vstupní otvor o poloměru 27,15mm a délce 70mm. Všechny jmenované části hasicí trysky jsou spojeny do jednoho celku, který se podobá konickému kuželu.

Podle zadání je průtok vody při hašení $10 \text{ m}^3/\text{min}$. Tento průtok se dělí mezi dalších 58 hasících trysek, které jsou umístěny v hasicí věži koksárenské baterie do dvou hlavních větví viz obr. 8.2. Na hlavní je rozvodné potrubí o průměru 220mm. Na to je napojeno menší potrubí o průměru 76mm, které je už spojené s hasicími tryskami. Ty jsou mezi sebou v rozestupu 1100mm. Po přepočtu na jednu hasicí trysku vychází, že hmotnostní průtok vody je 2,87 kg/s. Tato hodnota se bude uvažovat jako vstupní podmínka.

$$Q_m = \rho \cdot Q_v \quad (8.1)$$



Obr. 8.2 Rozložení trysek ve věži



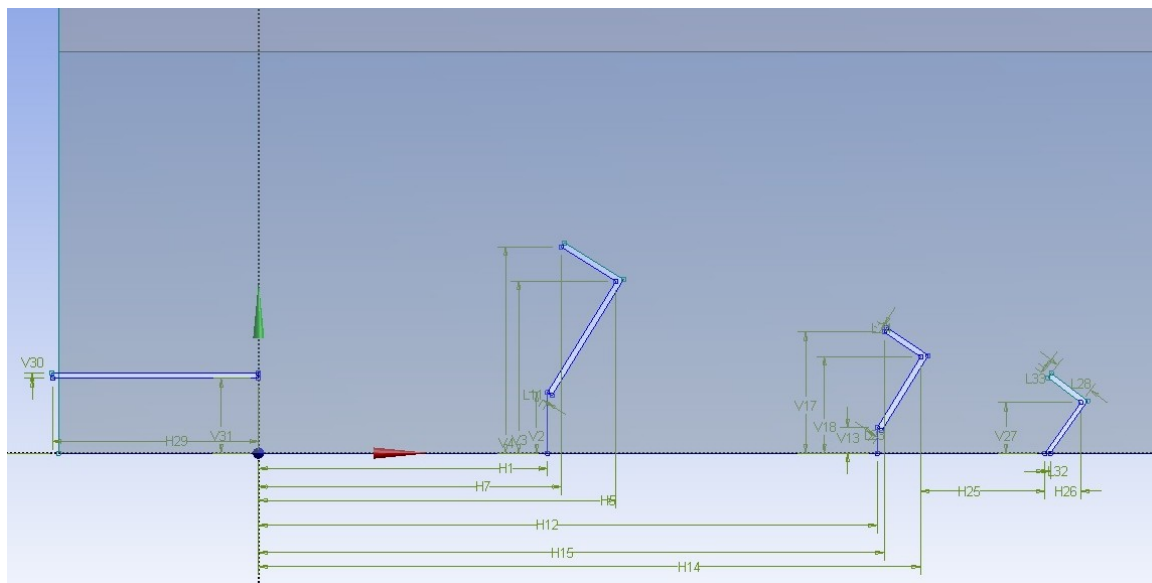
Obr 8.3 Model trysky

Rozstřík vody budu nejprve modelovat ve 2D geometrii a poté následně v 3D, abych otestoval práci se softwarem pro numerické modelování, vhodně zvolil síť modelu,

tzn. najít vyhovující počet buněk. Čím více buněk bude ve výpočetní síti, tím delší bude výpočet. Dále následuje zvolení výpočtového modelu a stěnové funkce.

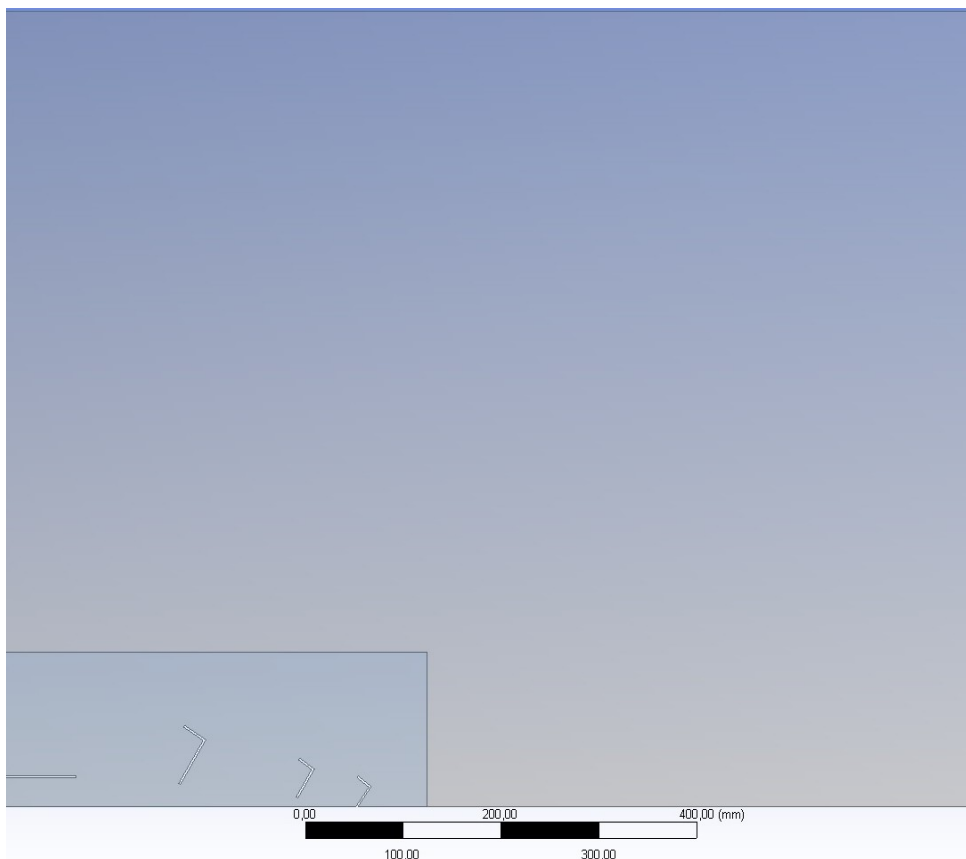
8.1 Tvorba geometrie trysky

Vytvoření 2D geometrie bylo provedeno v programu DesignModeler. Zadavatel diplomové práce poskytl k nahlédnutí 3D model trysky, ten jsem otevřel v programu SolidWorks a získal jsem pomocí funkce pravítka všechny potřebné rozměry pro vytvoření 2D geometrie. Celá součást byla kreslena symetricky.

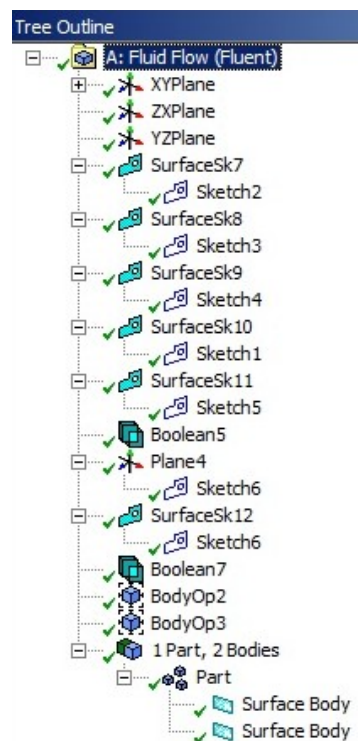


Obr. 8.4 Geometrie trysky

Pro každý tento rozměr byla vytvořena plocha za pomoci příkazu surface sketch. Tyto plochy sloužily k vytvoření vnitřních objemů za pomoci příkazu boolean. Nastavení příkazu boolean se vybírá v záložce operation. Tam jsem zvolil typ subtract a poté jsem určil objemy target bodies a tool bodies (importovaný článek). Po vygenerování se odstraní objemy, které zde představují odrážecí talíře a okraj vstupního otvoru. V oblasti okolo odrážecích talířů, byla vytvořena plocha proto, aby bylo možné poté vytvořit hustou výpočetní síť, která by nezasahovala do celé plochy (750 x 1000mm) a ušetřila velký počet buněk, a tím zrychlila výpočet. Zbýlé 2 parts a 2 bodies spojíme v jeden příkazem from new part.



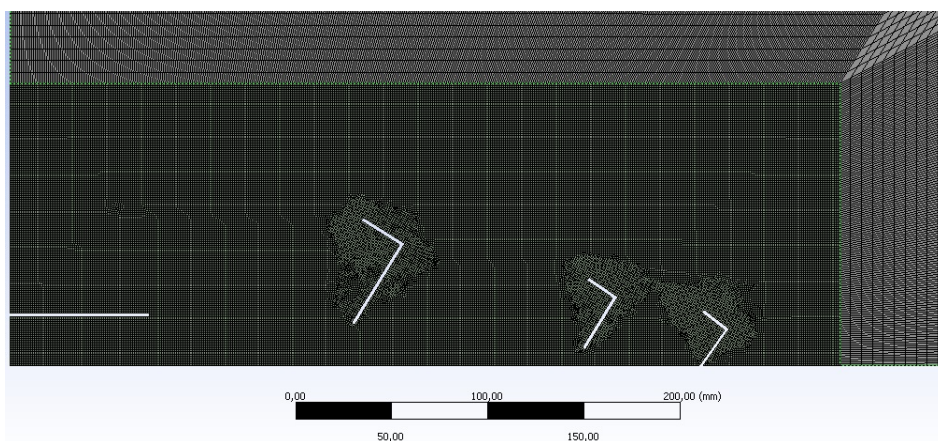
Obr. 8.5 Výsledná geometrie



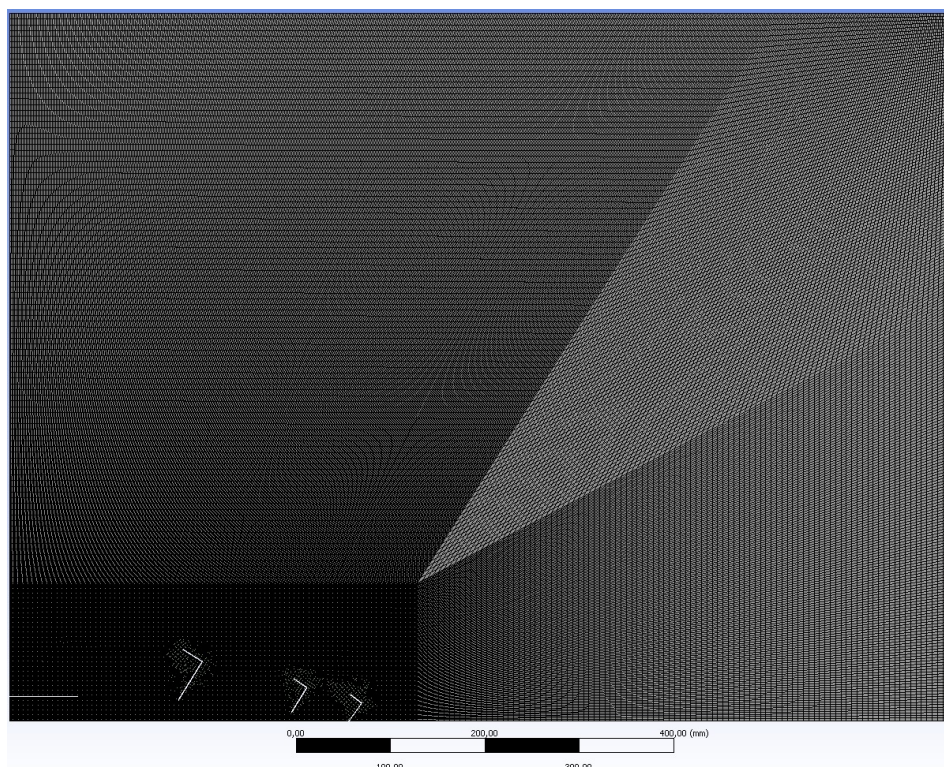
Obr. 8.6 Pracovní příkazy

8.2 Tvorba sítě (MESH)

Pro tvorbu výpočetní sítě bylo využito prostředí AnsysMesching. Nastavení sítě má velký vliv na provedení výpočtů, a proto je důležité dobře zvolit velikost buněk v daných oblastech. Zhuštění výpočetní sítě v oblasti odrážecích talířů bylo provedeno z důvodu přesnosti výpočtu. Tato zhuštěná síť má velikost buňky 1mm viz obr. 8.7. Oblast plošného rozstříku je zhuštěna na velikost buňky 10mm. Dále jsem upravil hustotu buněk na hranách nad vstupem a na ose. V obou případech se jednalo o hranu oblasti plošného rozstříku. Po vytvoření výpočetní sítě byl počet buněk v celé oblasti 131 805.

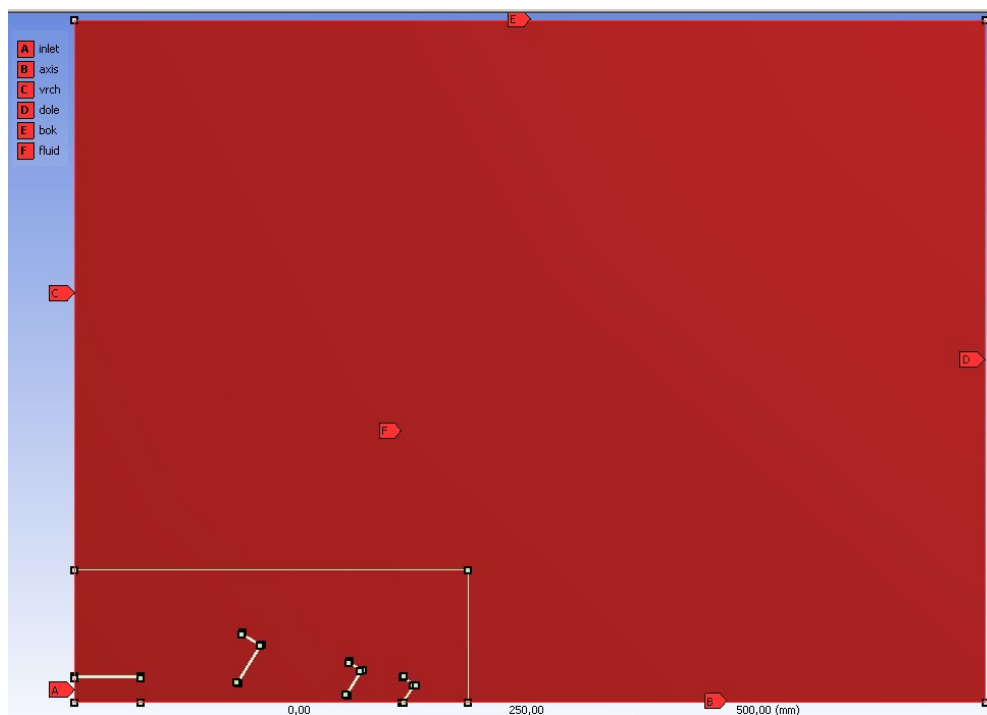


Obr. 8.7 detail zhuštěné sítě v okolí odrážecích talířů



Obr. 8.8 Celá výpočetní síť

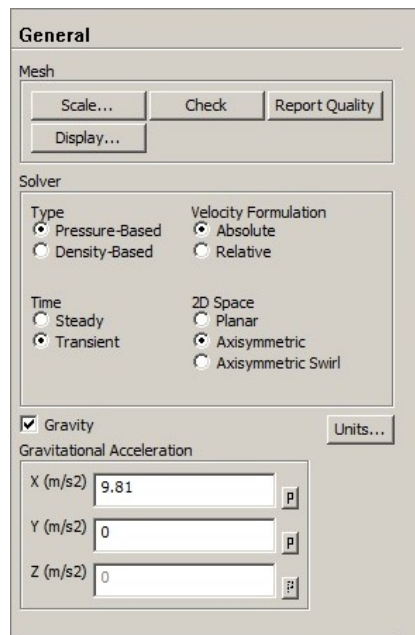
Volba a pojmenování okrajových podmínek, které můžeme vidět na obr. 8.9, jsou důležité pro definování vstupu (Inlet) anebo k určení stěn (Wall) a výstupů (Outlet). Vytváří se pomocí příkazu Named Selection a tyto podmínky budou načteny spolu s výpočetní sítí v programu Ansys Fluent, kde se přesně definují jejich vlastnosti a parametry. Protože je tryska modelována tak, že její osa leží na ose x, je vstupní podmínka Inlet vytvořena na levé straně dole.



Obr. 8.9 Pojmenování okrajových podmínek

8.3.1 Hlavní nastavení (GENERAL)

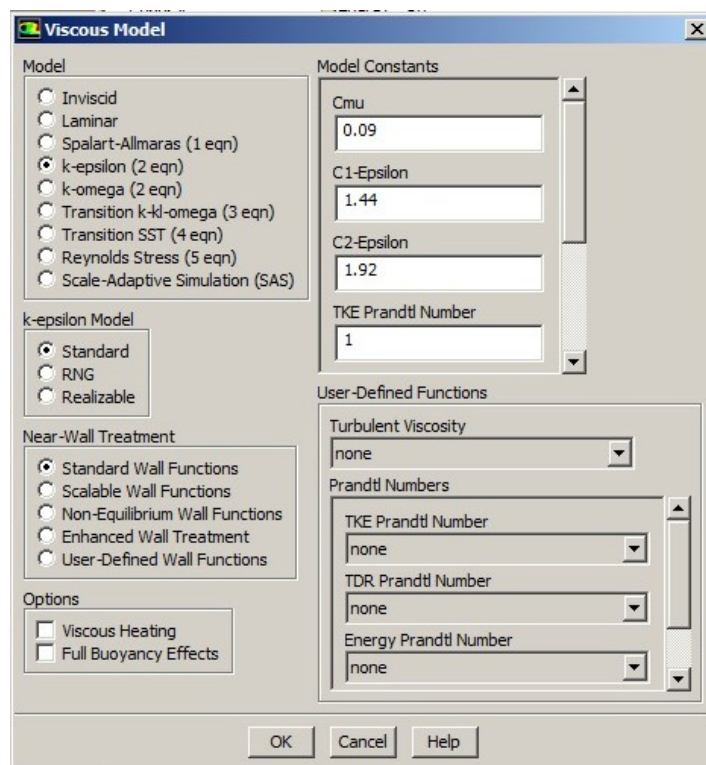
V záložce General se nastavuje, zda je součást symetrická (pouze 2D geometrie), jedná-li se o časové závislou úlohu a gravitace. Číselnou hodnotu gravitace zapisujeme do jedné ze tří os podle orientace dané geometrie.



Obr 8.10 Nastavení záložky General

8.3.2 Nastavení záložky Models

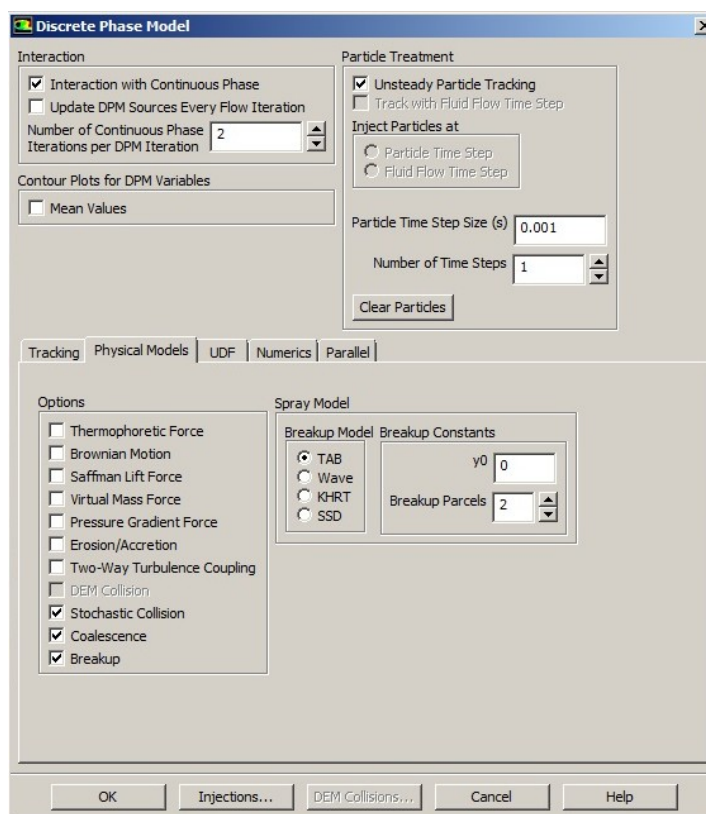
V teoretické části jsou popsány modely vícefázového proudění a diskrétní fáze. Podle této teorie jsem postupoval při výběru výpočetních modelů. V záložce Viscous se volí matematicky model proudění kapaliny. Zvolil jsem model standart k- ϵ a StandartWall-functions viz obr. 8.11.



Obr. 8.11 Nastavení Viscous Model

Dále byl zapnut model Energie a Diskrétní fáze. U nastavení diskrétní fáze musíme uvažovat, co bude kapalina dělat při spuštění výpočtu. Pokud diskrétní fáze a kontinuální fáze na sebe navzájem působí (vyměňují si hybnost, energii, hmotu), musíme zapnout interakci s kontinuální fází. Po zapnutí se objeví možnost nastavit počet iterací kontinuální fáze, což umožňuje ovládat frekvenci, při které jsou částice sledovány, a zdroje diskrétní fáze aktualizovány viz obr. 8.12.

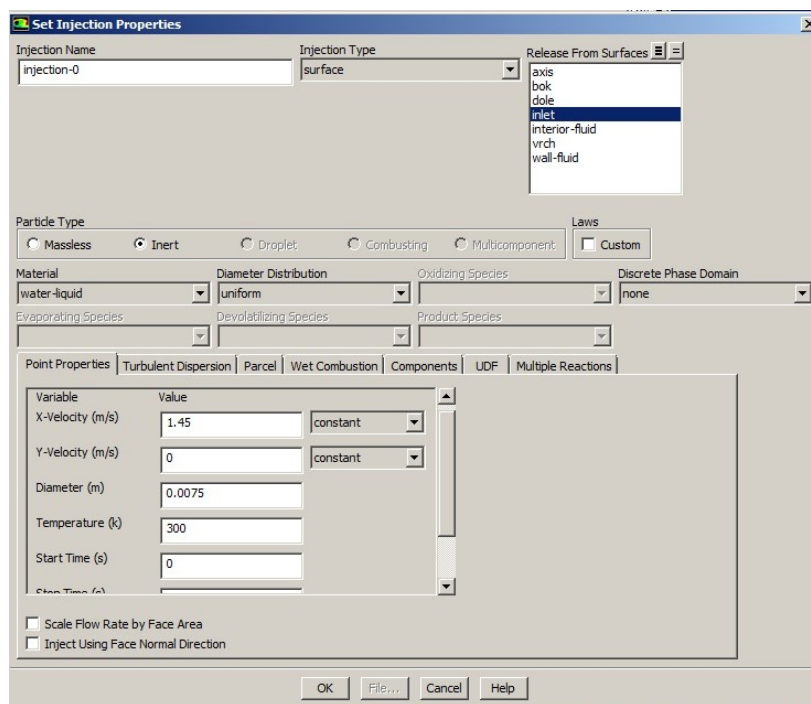
Ve spodní části je na výběr záložka určující fyzikální vlastnosti modelů diskrétní fáze. Jednotlivé fyzikální modely jsou popsány v teoretické části. Vybrány byly vlastnosti Breakup a Stochastic Collision. Při výběru druhé fyzikální vlastnosti se automaticky zapne i Coalescence. Po kontrole ostatních záložek přecházíme do Injection, kde se nastavuje druh částice, její rychlost a místo, ze kterého je do modelu vpuštěna.



Obr. 8.12. Discrete Phase Model

Vstup částic do prostoru trysky jsem zvolil plošný (surface) a z místa inlet, které se definovalo už v AnsysMeschingu. V záložce particle type jsem nastavil inertní částice a poté zvolil materiál částic. V tomto případě se jednalo o vodu, kterou jsem musel vytvořit, viz obr. 8.14. V záložce point properties byly zadány vstupní hodnoty rychlosti, hmotnostního průtoku a velikost kapky.

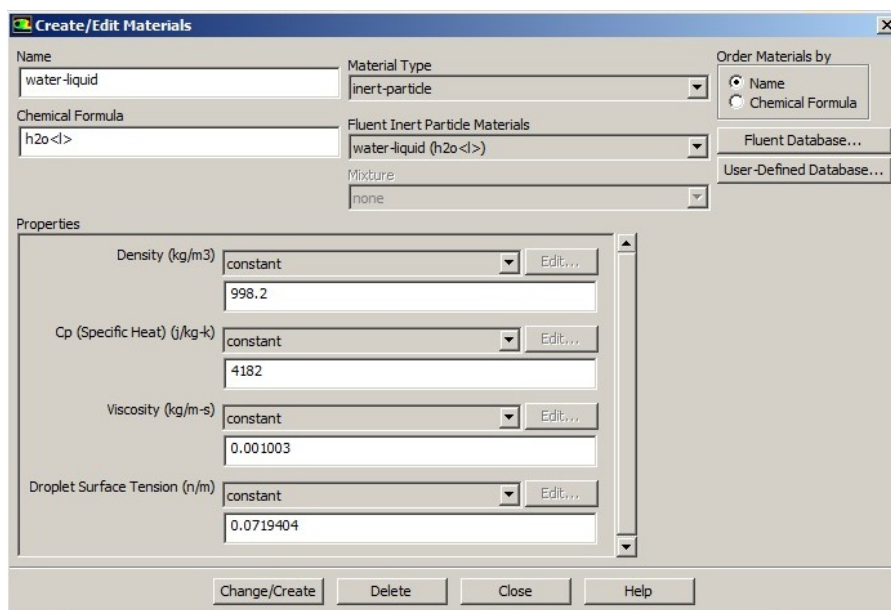
- Rychlost částic $1,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Hmotnostní průtok $2,86 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$
- Velikost částic $0,0075 \text{ m}$
- Teplota 300K



Obr. 8.13 Nastavení Injection

8.3.3 Nastavení materiálů

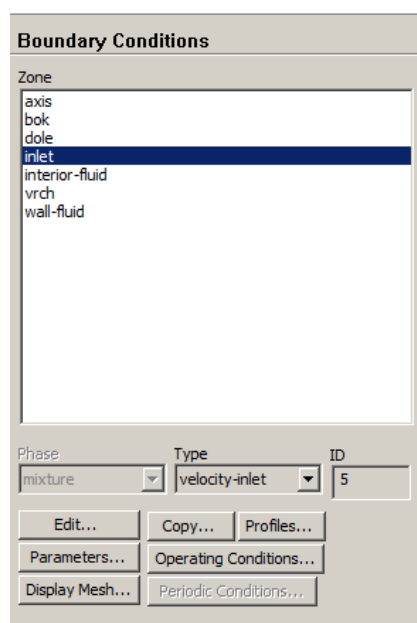
V této záložce se nastavují všechny materiály nebo chemické prvky, které ovlivňují výpočet. Fluent disponuje knihovnou materiálů, ze které je možné si vybrat požadovaný materiál. V diskrétním modelu máme nastavené, že částice je inertní, a jelikož není v základní nabídce, je potřeba ji vytvořit s fyzikálními vlastnostmi vody. Pomocí Fluent Database jsem našel materiál s názvem Water-liquid, který má přesné vlastnosti vody, přepnul jsem záložku na Inert Particle a nechal materiál vytvořit. Po vytvoření je potřeba u modelu diskrétní fáze nastavit v Injection nově vytvořený materiál.



Obr. 8.14. Vytvoření materiálu

8.3.4 Nastavení Boundary Condition

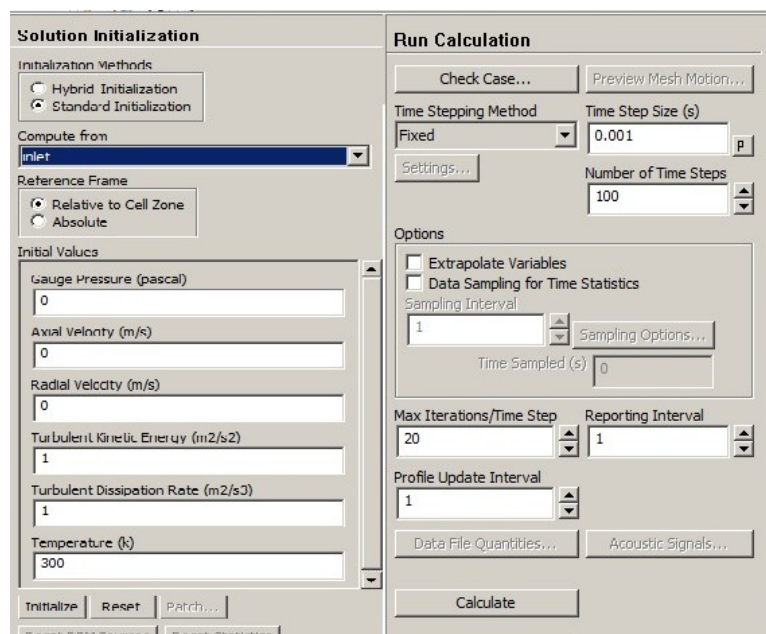
Tato záložka slouží k nastavení okrajových podmínek. Na vstupu jsem nastavil Velocity-Inlet a hodnota rychlosti byla nulová, protože částice vypouštíme do prostoru surface inlet v nastavení Injection. U výstupů bok, vrch a dole jsem nastavil PressureOutlet. Interior-fluid je prostor rozstříku vody a wall-fluid představují odrážecí talíře a stěnu, která ohraničuje vstup. Je velice důležité nastavit u této podmínky vhodný typ stěnové funkce, aby se částice po nárazu na stěnu chovala tak jak se od ní očekává. V tomto případě jsem nastavil stěnovou funkci Wall-Jet a pro ostatní případy Escape.



8.15. Boundary Condition

8.3.5 Solution Initialization a Run Calculation

Před zapnutím výpočtu je důležité všechny vstupní parametry inicializovat a zpětně zkontrolovat, jestli dané veličiny odpovídají nastaveným hodnotám. V záložce Compute from můžeme vybrat okrajovou podmínku, kterou chceme inicializovat. Po provedení tohoto příkazu můžeme přejít k záložce Run Calculation, kde po nastavení počtu iterací můžeme spustit nastavený výpočet.

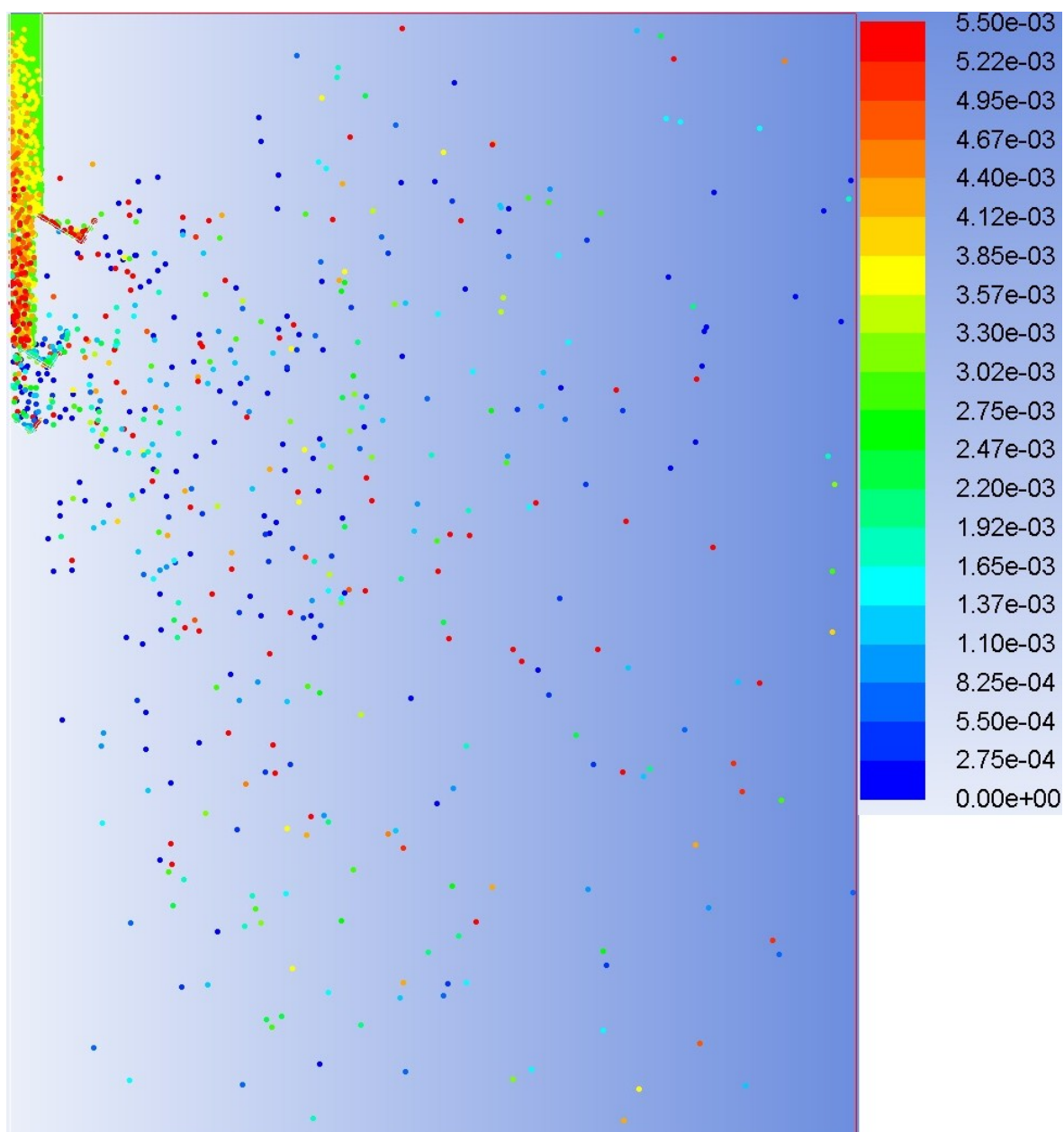


Obr. 8.16 Nastavení inicializace a Run Calculation

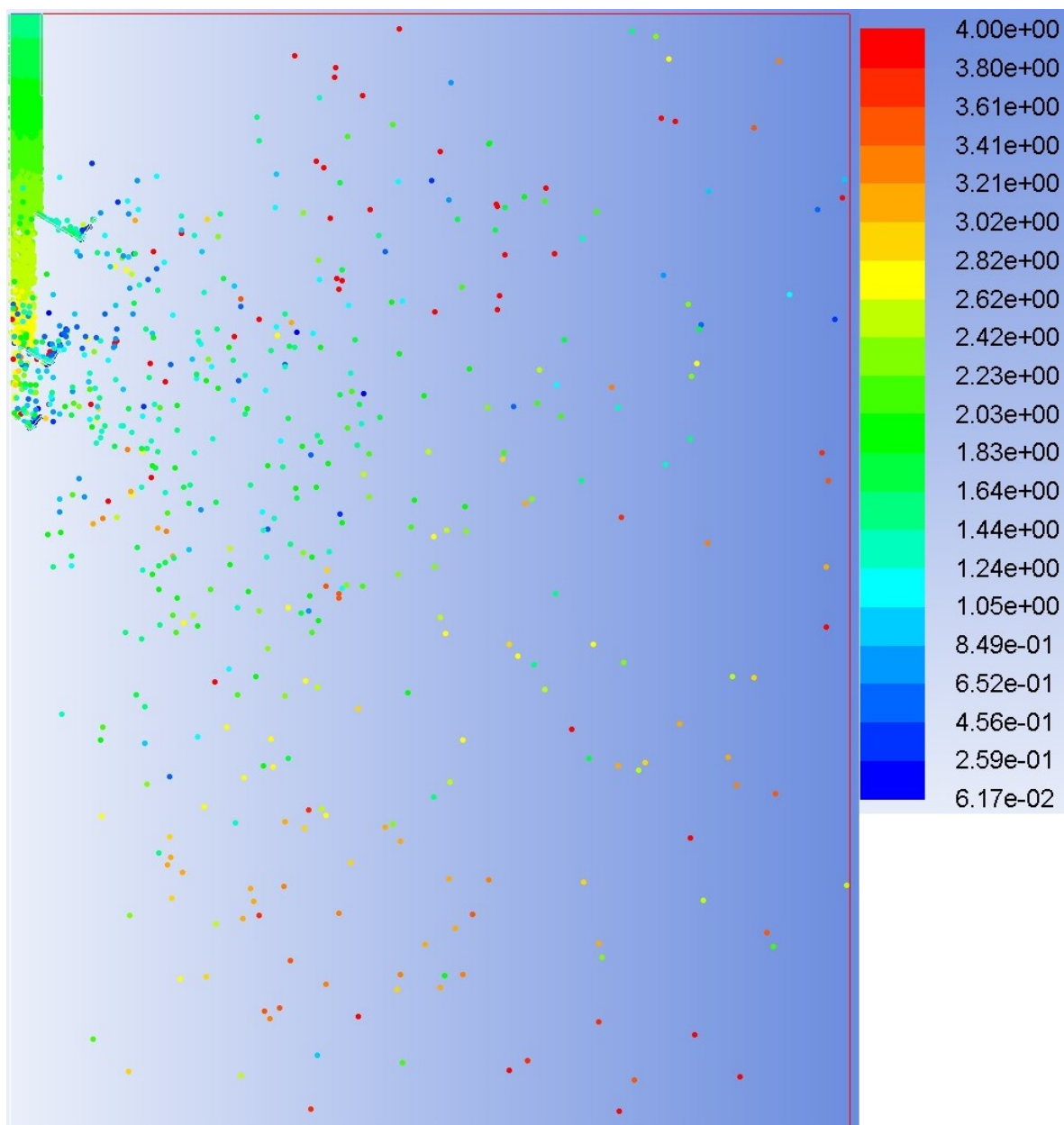
8.4 Vyhodnocení výsledků 2D simulace

K vyhodnocení velikosti a rychlosti částic jsem použil příkaz partical tracks. Vybral jsem injections a vymežil rozhraní barevného zobrazení. Numerický výpočet jsem prováděl pro základní rozměry. Hodnoty na okraji vykreslení jsou při znázornění velikosti částic v metrech a u vykreslení rychlosti v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

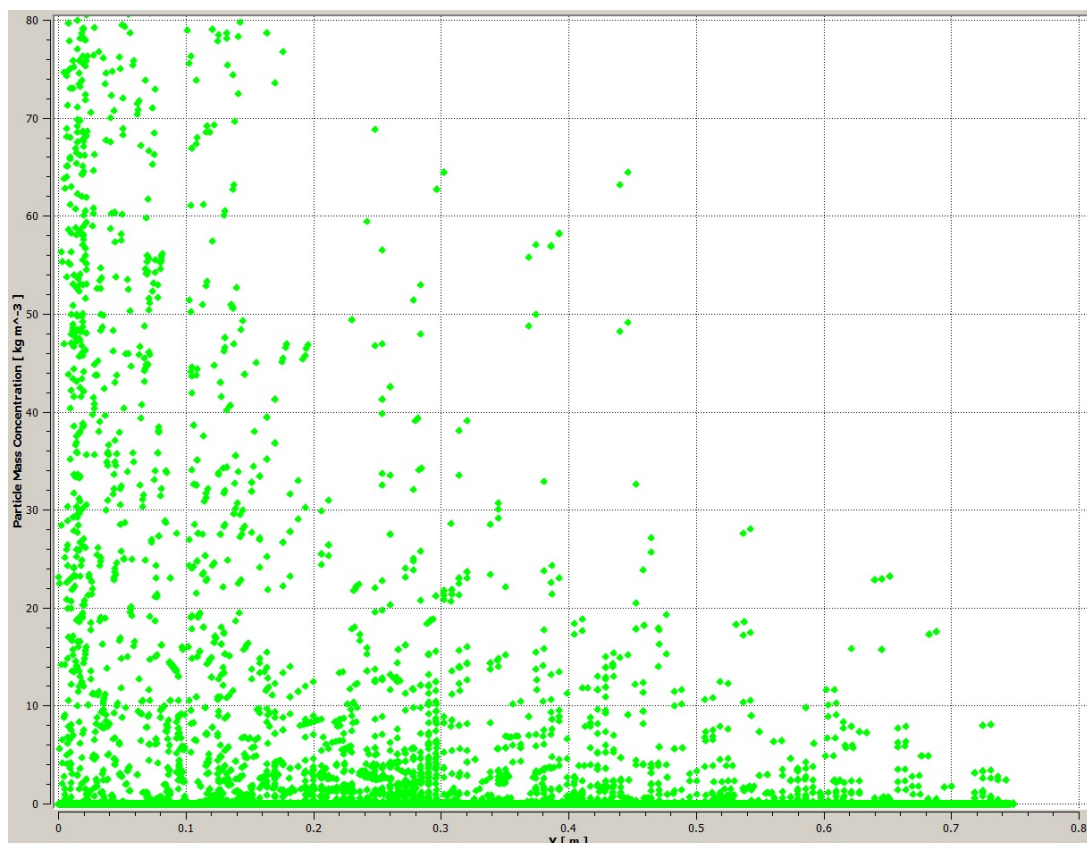
Na obrázku 8.16 je vykreslena velikost částic vody, které proudí tryskou. První odrážecí talíř odebírá mm z průměru vodního proudu a tato odražená voda dopadá nejdále od trysky. Velká část vodního proudu se odrazí od druhého odrážecího talíře. Zbytek proteče k poslednímu talíři, který zajišťuje dodatečný malý rozstřík. Na obrázku 8.18 je znázornění rychlosti částic vody v trysce. Po nárazu částic na odrážecí talíř částice lehce zpomalí. V zúženém prostoru se rychlost zvýší. Nejvyšší rychlost částic v trysce je dosažena ve spodní části okolo $2,63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ viz obr. 8.18.



Obr. 8.17 Znázornění velikosti částic při rozstříku v metrech



Obr. 8.18 Znázornění rychlosti částic v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 8.19 Graf hmotnostní koncentrace částic v závislosti na vzdálenosti od středu trysky

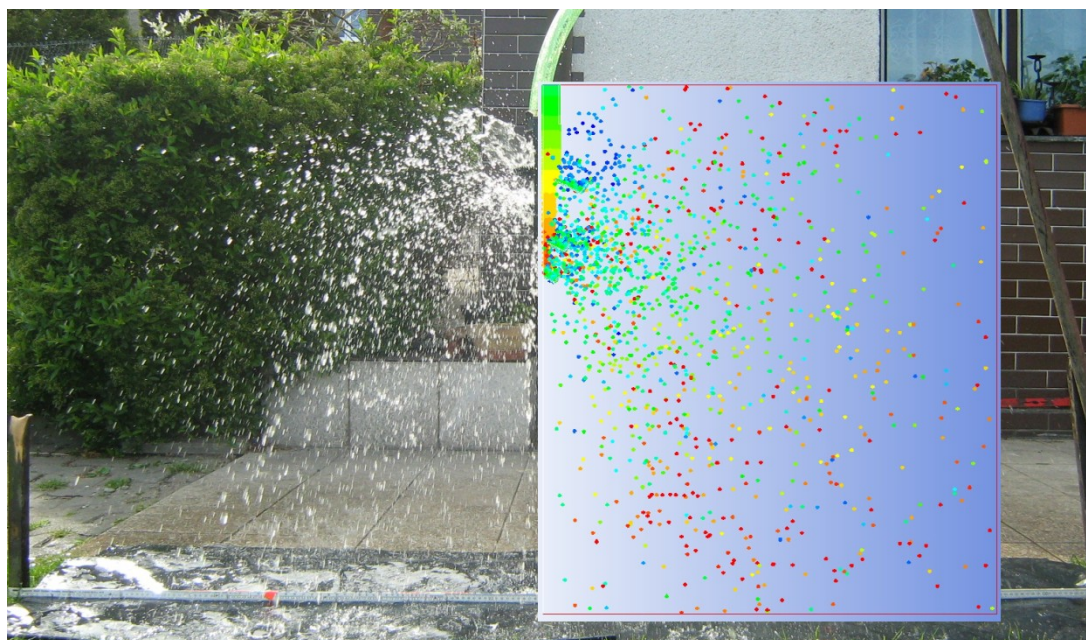
Na obr. 8.19 jde vidět závislost hmotnostní koncentrace částic na vzdálenosti od středu trysky. Je zde i zjištělná vzdálenost rozstříku. Zhuštění v levé části grafu je způsobeno vodou, která proudí v trysce.

9. Experimentální zjištění rozstříku vody

Na vypůjčeném plastovém modelu, který má stejný tvar a přibližně o 1/3 menší rozměry, než skutečná tryska, jsem provedl experimentální měření rozstříku vody. Do vstupního otvoru trysky jsem vložil zahradní hadici o vnitřním průměru 5,4" (31,8mm). Druhý konec hadice byl napojen na čerpadlo, které jsem ponořil do sudu o objemu 200l. Hadice byla uchycena tak, aby byla tryska 730mm nad zemí, jak uvádí ve výkresové dokumentaci zadavatel práce. Rozstřík byl měřen pravítkem položeným pod skrápěcí tryskou. Na pravítku bylo vyznačeno rozmezí 50cm od středu na každou stranu a dřevěný kolík na okraji značil vzdálenost jeden metr, aby byla na snímku dobře viditelná vzdálenost odražené vody od středu. Výsledky experimentálního měření jsem porovnal s výsledky simulace na obr. 9.2.



Obr. 9.1 Rozstřík vody

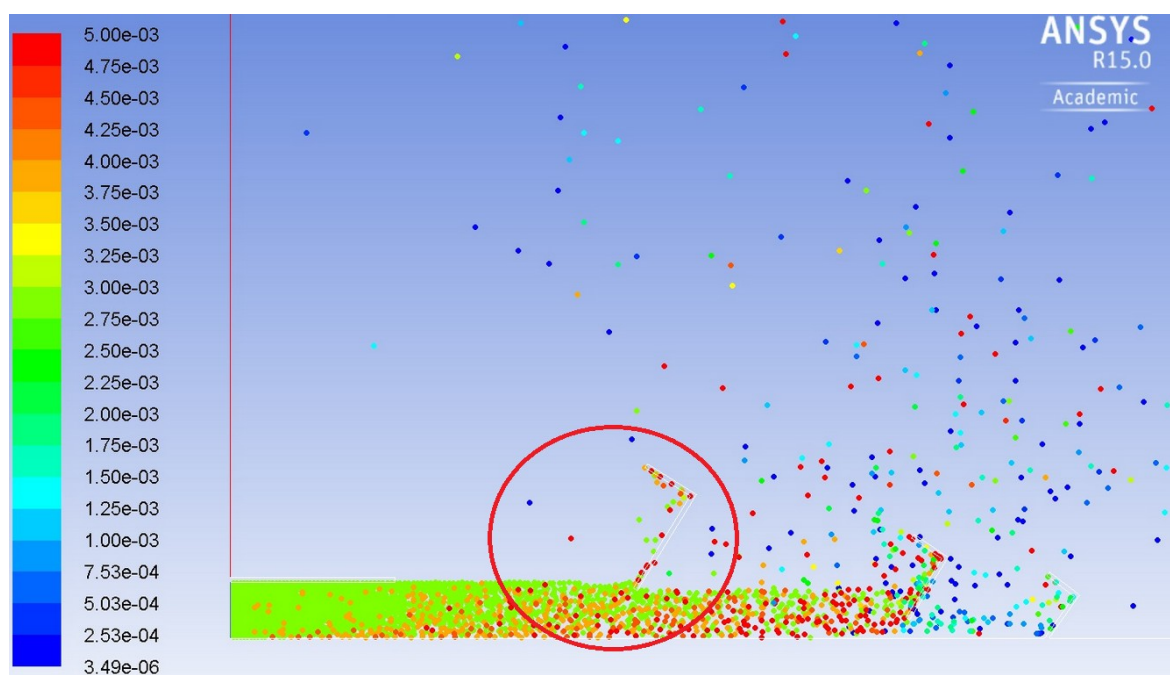


Obr. 9.2 Srovnání experiment a simulace s vyhodnoceným rychlostním průměrem vodních kapek

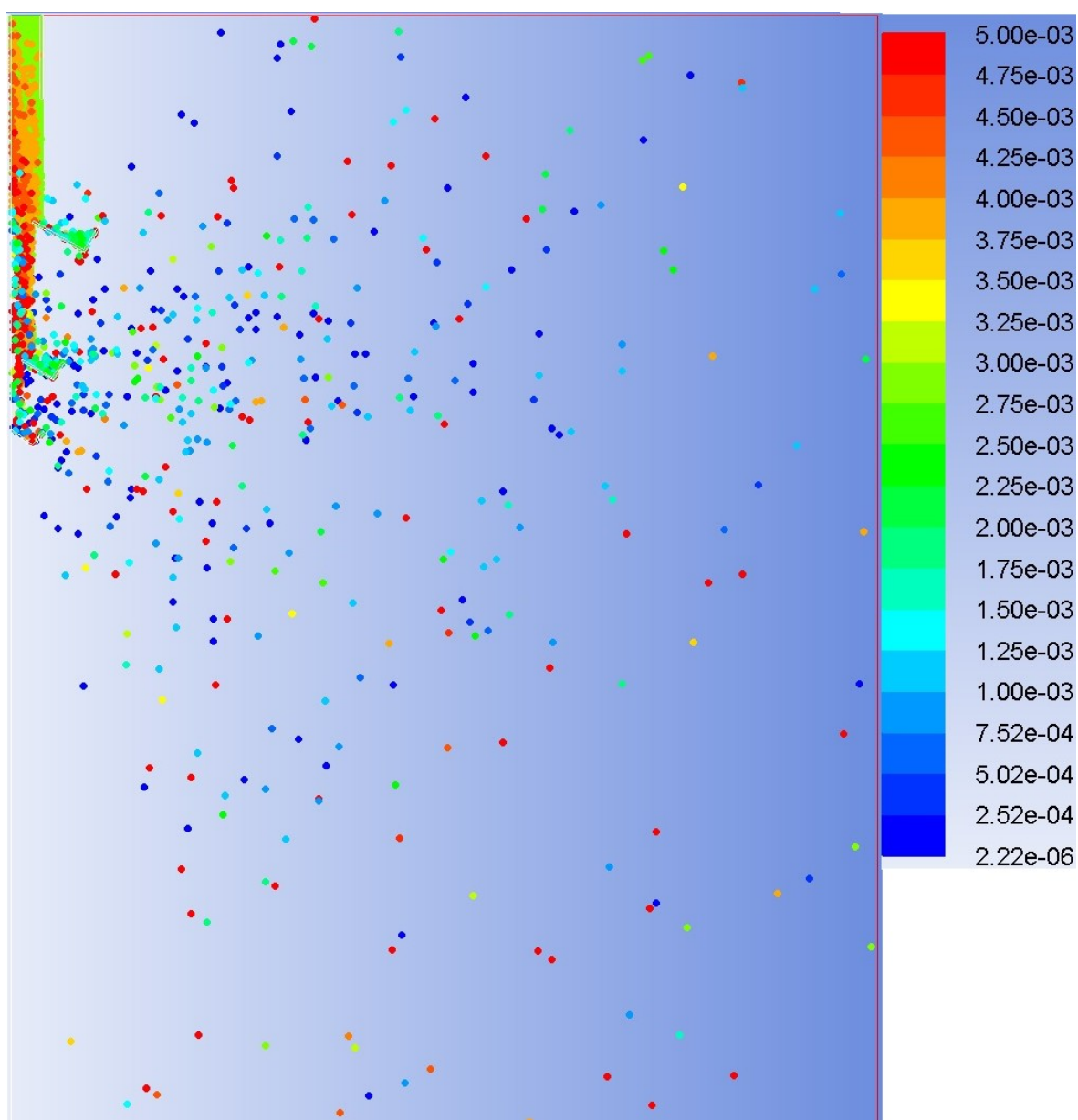
10. Konstrukční úpravy trysky

Po numerických výpočtech všech navržených možnosti na změnu vstupního průměru, byl největší problém u změny na průměr 50,3mm. Při tomto průměru dopadala voda na první odrážecí talíř jen okrajově, odebíral pouze 3,15mm z poloměru vodního proudu viz obr 10.1. Z tohoto důvodu bylo třeba upravit velikost průchozího průměru

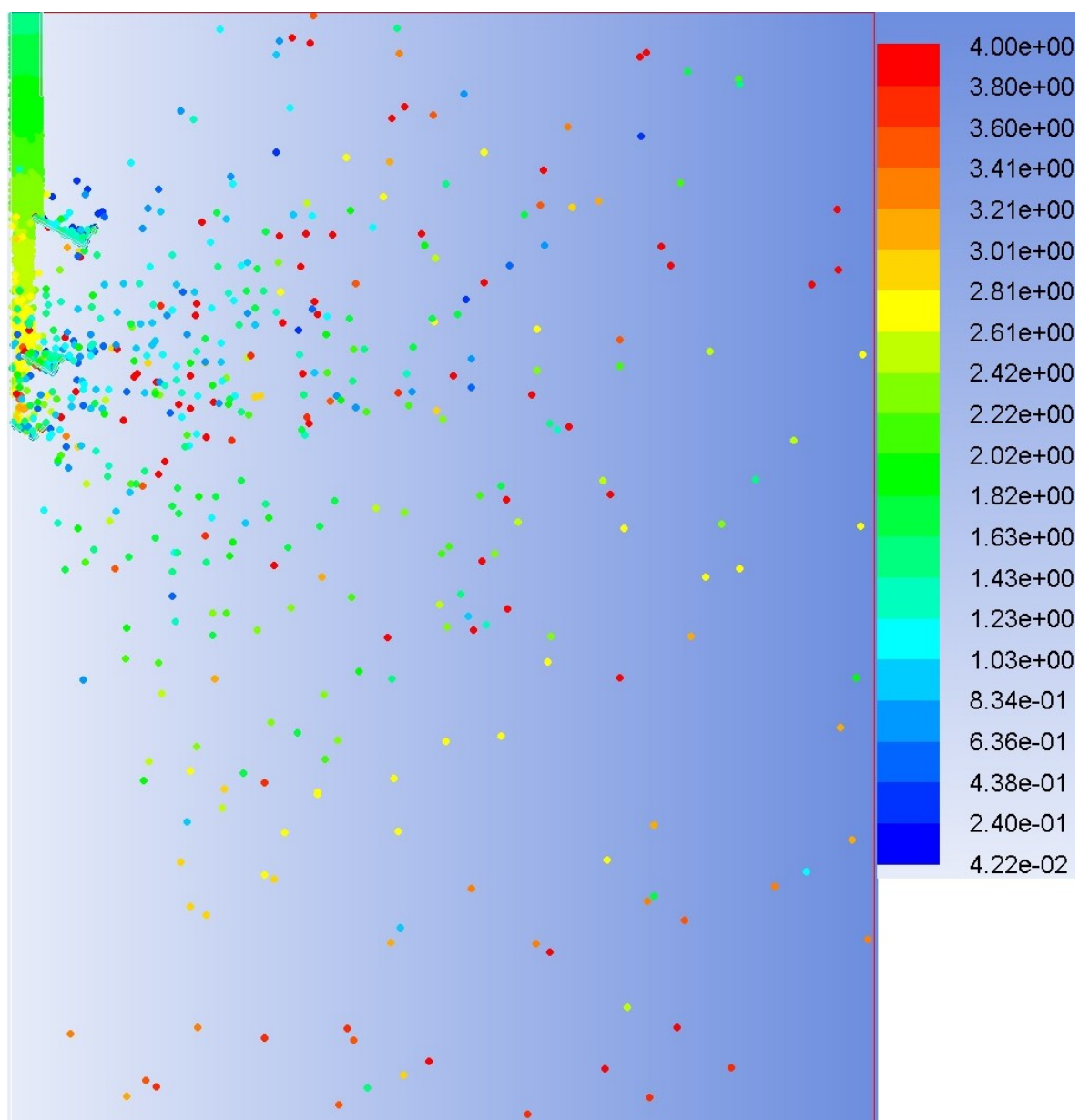
prvního odrážecího talíře z 22mm na 19mm. Tím docílíme stejného odkrojení vody jako v základním případě. Na obr. 10.2 a 10.3 je znázorněn rozstřík vody na upravené geometrii trysky. Po zúžení průchozího průměru je patrné jak první talíř odkrajuje větší množství proudu vody, to způsobí, že nedojde k hromadění vody u dalších dvou talířů a dojde k rovnoměrnému rozstříku vody do prostoru. Po změně geometrie nedochází k poklesu intenzity rozstříku. To můžeme vidět na obrázku 10.4, kde je znázorněna hmotnostní koncentrace částic v závislosti na vzdálenosti od středu trysky. Na obr. 10.3 je znázorněna rychlost částic vody, která je ve spodní části téměř totožná jako u základní geometrie.



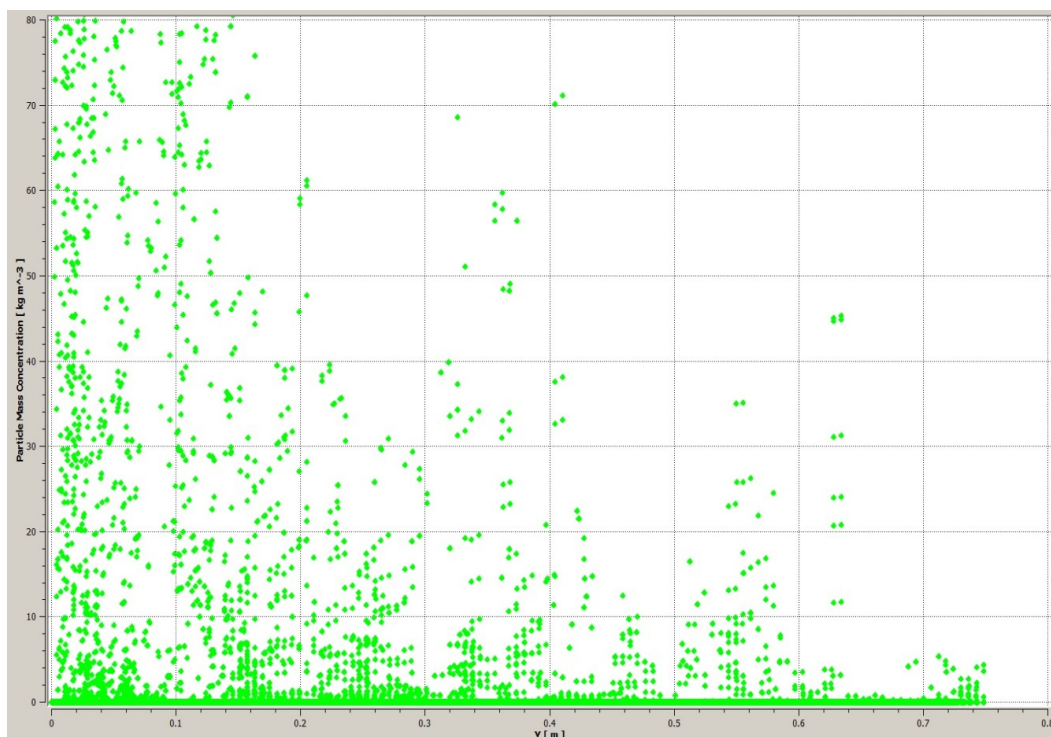
Obr. 10.1 Detail odběru talířů u geometrie se vstupním průměrem 50,3mm



Obr. 10.2 Znázornění velikosti částic v metrech



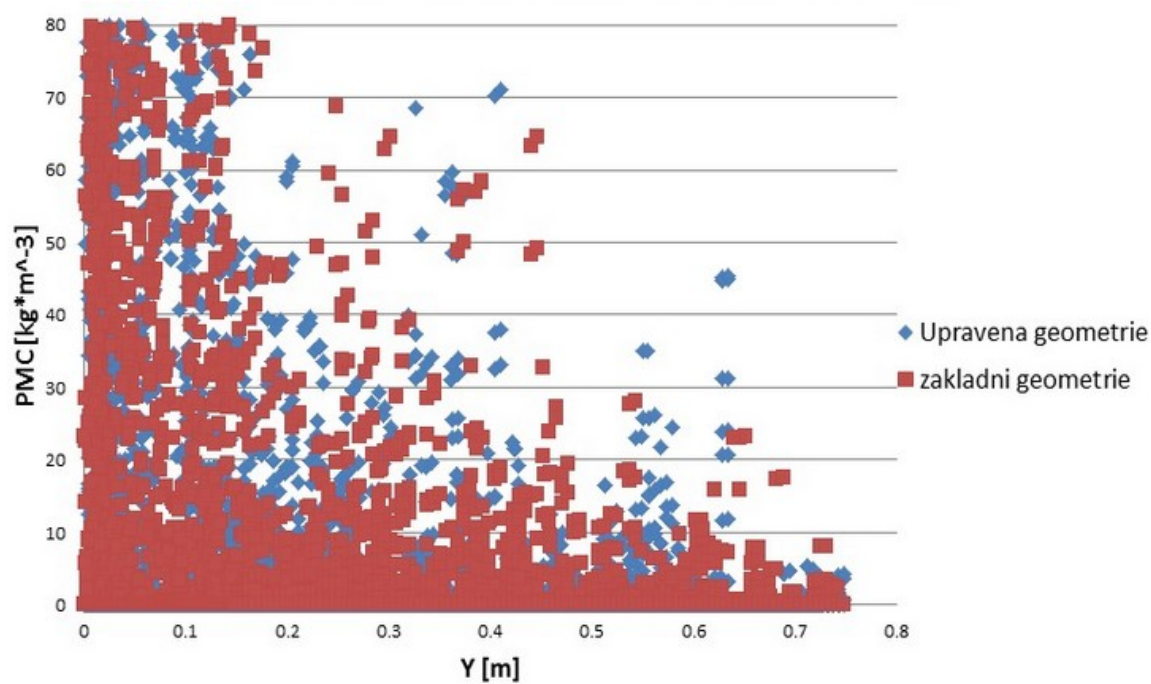
Obr. 10.3 Znázornění rychlosti částic $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$



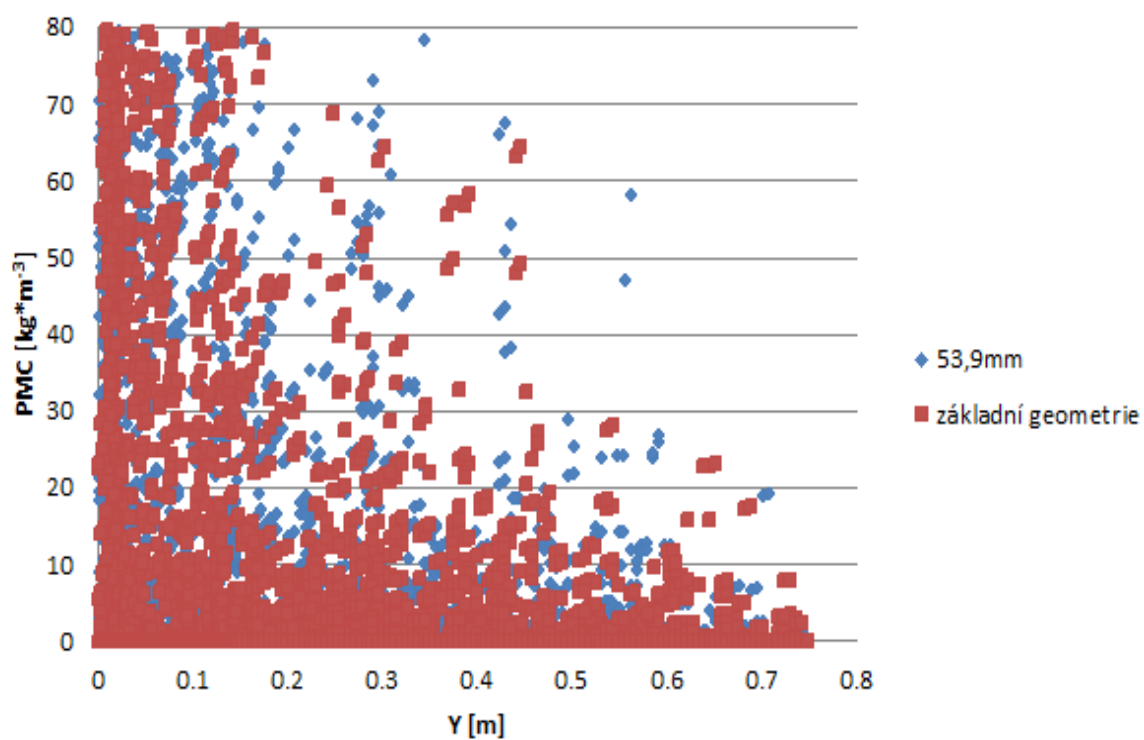
Obr. 10.4 Graf hmotnostní koncentrace částic v závislosti na vzdálenosti od středu trysky

10.1 Porovnání výsledků

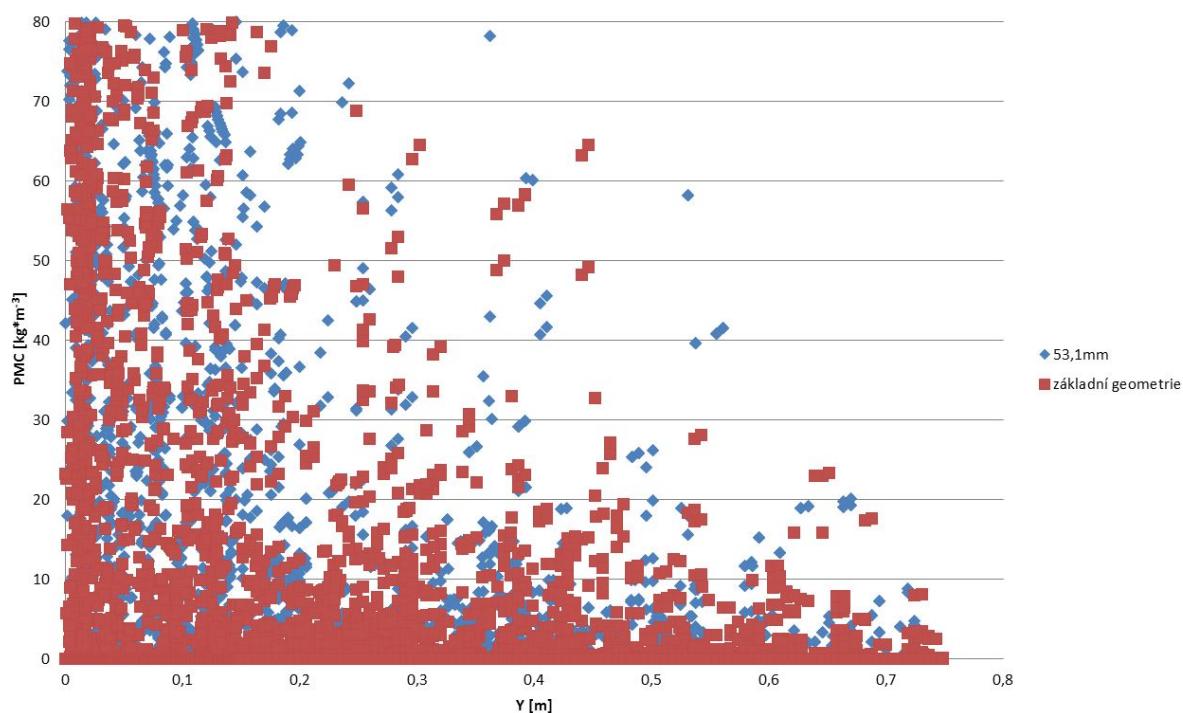
K porovnání výsledků základní geometrie s upravenou geometrií a základní geometrií s návrhy škrtících průměrů, jsem využil vyexportované data z programu Ansys Fluent. Vyexportované data pro obě dvě geometrie jsem vložil do programu Excel a vytvořil graf závislosti hmotnostní koncentrace částic na vzdálenosti od středu trysky. Ty jsou znázorněny na obr. 10.5 až 10.8. Porovnané výsledky se shodují jak ve vzdálenosti rozstříku, tak i v intenzitě ostříkované plochy. V levé části grafu je koncentrace částic vody vysoká z důvodu, že se jedná i o oblast, kde voda proudí tryskou. Dále jsou porovnány další navržené průměry se základní geometrií, aby bylo potvrzeno, že nedochází ke snížení dostřiku a intenzitě rozstříku. Výsledky dalších navržených průměrů jsou uvedeny v příloze diplomové práce. Kromě průměru 50,3mm, který vyžaduje konstrukční úpravu, jsou další průměry vhodné k použití škrcení vstupního otvoru, aby se zmenšila tlaková ztráta v zadní části potrubí.



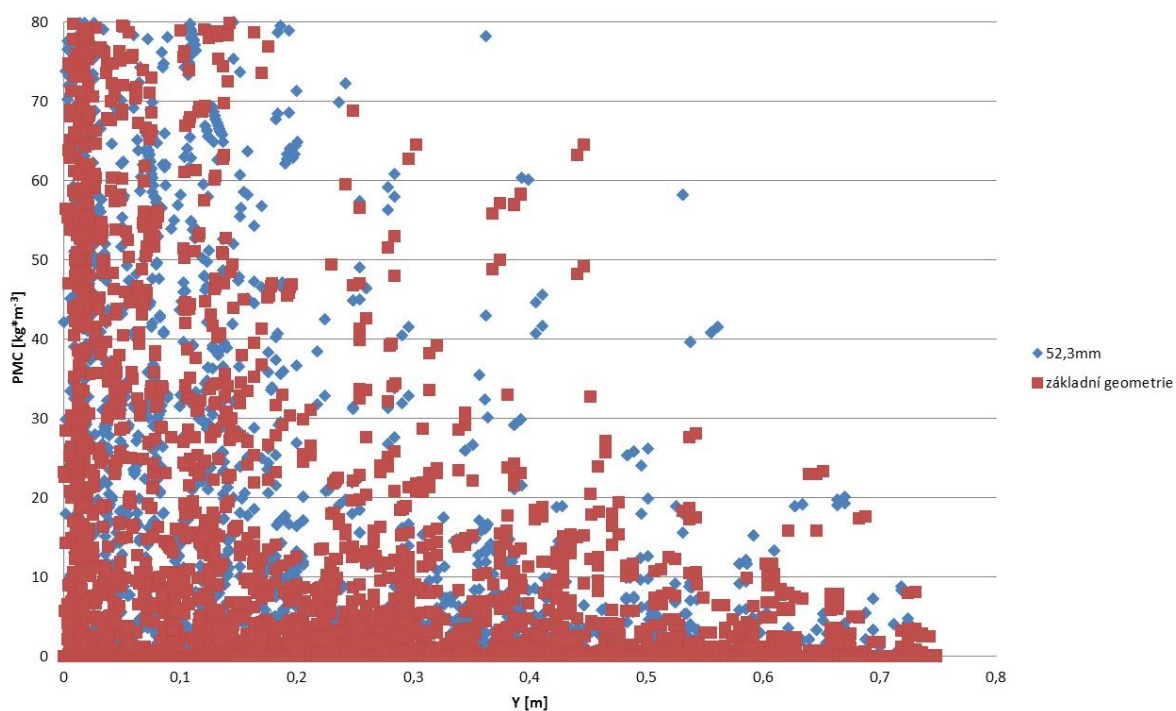
Obr. 10.5. Porovnání základní a upravené geometrie



Obr. 10.6 Porovnání základní geometrie a upraveného průměru vstupu na 53,9mm



Obr. 10.7 Porovnání základní geometrie a upraveného průměru vstupu na 53,1mm

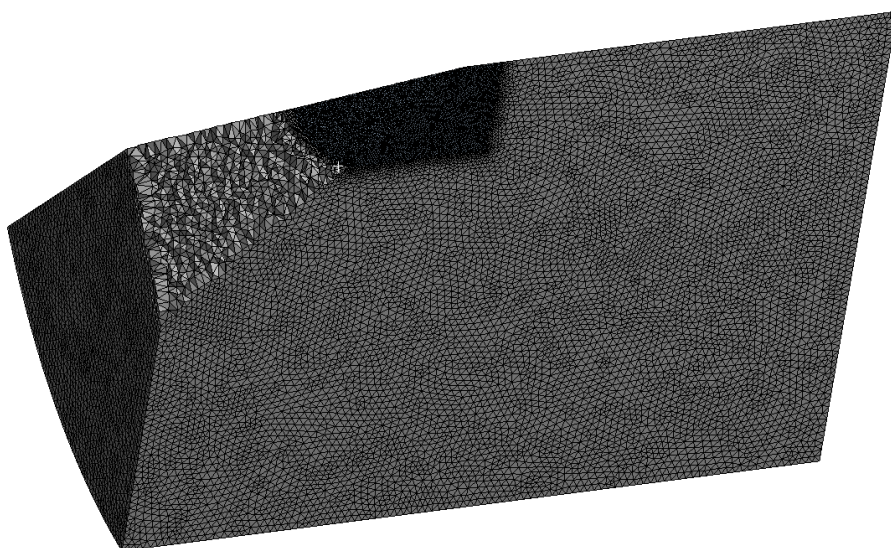


Obr. 10.8 Porovnání základní geometrie a upraveného průměru vstupu na 52,3mm

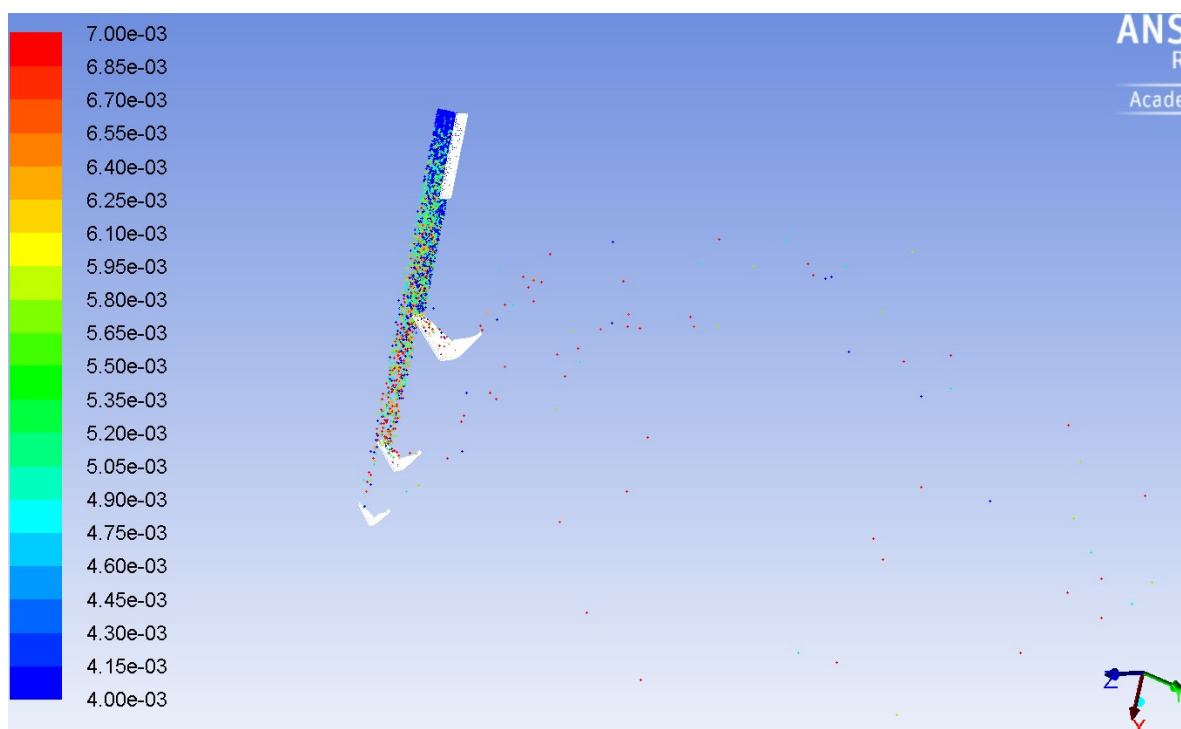
11. Model 3D geometrie

Před spuštěním geometrie v programu Workbench je nutné přepnout z 2D geometrie na 3D. Prostorový matematický model trysky vychází z předchozího 2D

modelu. Za pomoci funkce revolve orotujeme všechny vytvořené plochy okolo osy o úhel 40° a dáme vytvořit. Vytvoří se 1/9 válce s vybranými vnitřními objemy, které představují odrážecí talíře. Při pokračování tvorby 3D modelu musíme přejít do programu AnsysMesching a vytvoříme novou výpočetní síť. Opět jako u 2D geometrie jsem zhustil síť v okolí odrážecích talířů a pojmenoval všechny vstupy a výstupy. Výsledný počet buněk je 2 523 247. Nastavení výpočetních modelů je stejné jako u 2D geometrie a popsáno v kapitole 8.



Obr. 11.1 Výpočetní síť 3D modelu



Obr. 11.2 Zobrazení výsledku simulace 3D modelu

12. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo numerické modelování proudu vody procházejícího sprchovací tryskou hasicí koksárenské baterie. Celá simulace proběhla v programu Ansys Fluent. Tento program se řadí mezi CFD systémy. Zadavatel diplomové práce požadoval zjistit, jestli bude mít změna vstupního průměru vliv na účinnost trysky a na velikost plošného rozstříku vody. Pokud by změna těchto vlastností byla velká, je potřeba upravit geometrii trysky tak, abychom docílili požadované účinnosti a rozstříku vody.

První teoretická část diplomové práce se věnuje problematice skrápění koksu. Popisuje mokré i suché hašení a látky, které se při hašení uvolňují do okolí a do vody. Dále je popsáno rozdělení vodních proudů, jejich vlastnosti, využití, výhody a nevýhody. Na tuto kapitolu navazuje teorie trysek, ve které je vysvětlen princip odstředivé trysky, chladicí trysky, jejich specifikace a způsob rozstříku vody do prostoru. V druhé teoretické části jsou vysvětleny a popsány dva výpočtové modely a $k-\epsilon$ model turbulence, které jsou využity v programu Ansys Fluent. První je popsán model vícefázového proudění. Jsou zde teoreticky popsány všechny možné varianty vícefázového proudění, výpočetní modely a typové příklady, pro které je model možno využít. U modelu diskrétní fáze jsou uvedeny možnosti využití, omezení, turbulentní rozptyl částic a pohybové rovnice spojené s tímto modelem. Dále jsou popsány všechny varianty nastavení fyzikálních modelů, stěnových funkcí a možnosti výběru vstupní plochy, ze které budou částice vycházet do prostoru. Tato kapitola usnadní poměrně složité nastavení modelu diskrétní fáze. Tento model byl využit při numerické simulaci rozstříku vody v praktické části.

K vyřešení praktické části bylo nutné převzít rozměry hasicí trysky z 3D modelu, který poskytl zadavatel, a nakreslit zjednodušenou 2D geometrii v programu DesignModeler. Po vykreslení geometrie bylo potřeba vytvořit výpočetní síť se zhuštěním v okolí odrážecích talířů z důvodu přesnějších výsledků. Výsledná síť obsahovala 131 805 elementů. Na geometrii trysky jsou označeny plochy a úsečky, na které byly nastaveny okrajové podmínky. Mezi tyto podmínky patří rychlost na vstupu, pressure outlet na výstupu a stěnová funkce pro disperzní fázi, kde se nastavuje funkce wall-jet. V softwaru byla nastavena geometrie jako symetrická a úloha časově závislá. Poté došlo k nastavení výpočetních modelů, vytvoření materiálu a počtu iterací. Při vyhodnocení výsledků simulace, jsem použil příkaz partical tracks a nechal vyobrazit velikosti a rychlosti částic

viz obr. 8.17 a 8.18. Na těchto snímcích je tryska se základní geometrií. Poté jsem experimentálním způsobem zjišťoval rozstřík vody na zmenšeném modelu trysky a rozstřík porovnal se simulací na obr. 9.2. Po vyzkoušení všech navrhovaných změn vstupního průměru jsem zjistil, že škrcení na průměr 50,3mm ovlivňuje funkčnost trysky, viz obr. 10.1. Při porovnání výsledků obou simulací dochází na upravené geometrii ke stejnému rozstříku, jako u základního průměru viz obr. 10.5. Výsledky simulace dalších navržených průměrů jsou uvedeny v příloze diplomové práce. Kromě průměru 50,3mm, který vyžaduje konstrukční úpravu, jsou další navržené vstupní průměry vhodné k použití škrcení vstupního otvoru trysek umístěných v přední části potrubí. V poslední kapitole jsem popsal postup tvorby 3D geometrie a výpočetní sítě. Výsledek simulace je na obr. 10.2.

Poděkování

Na závěr této diplomové práce bych rád chtěl poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Adamovu Burečkovi Ph.d za podporu a odbornou pomoc při vypracovávání mé diplomové práce.

13. Použitá literatura

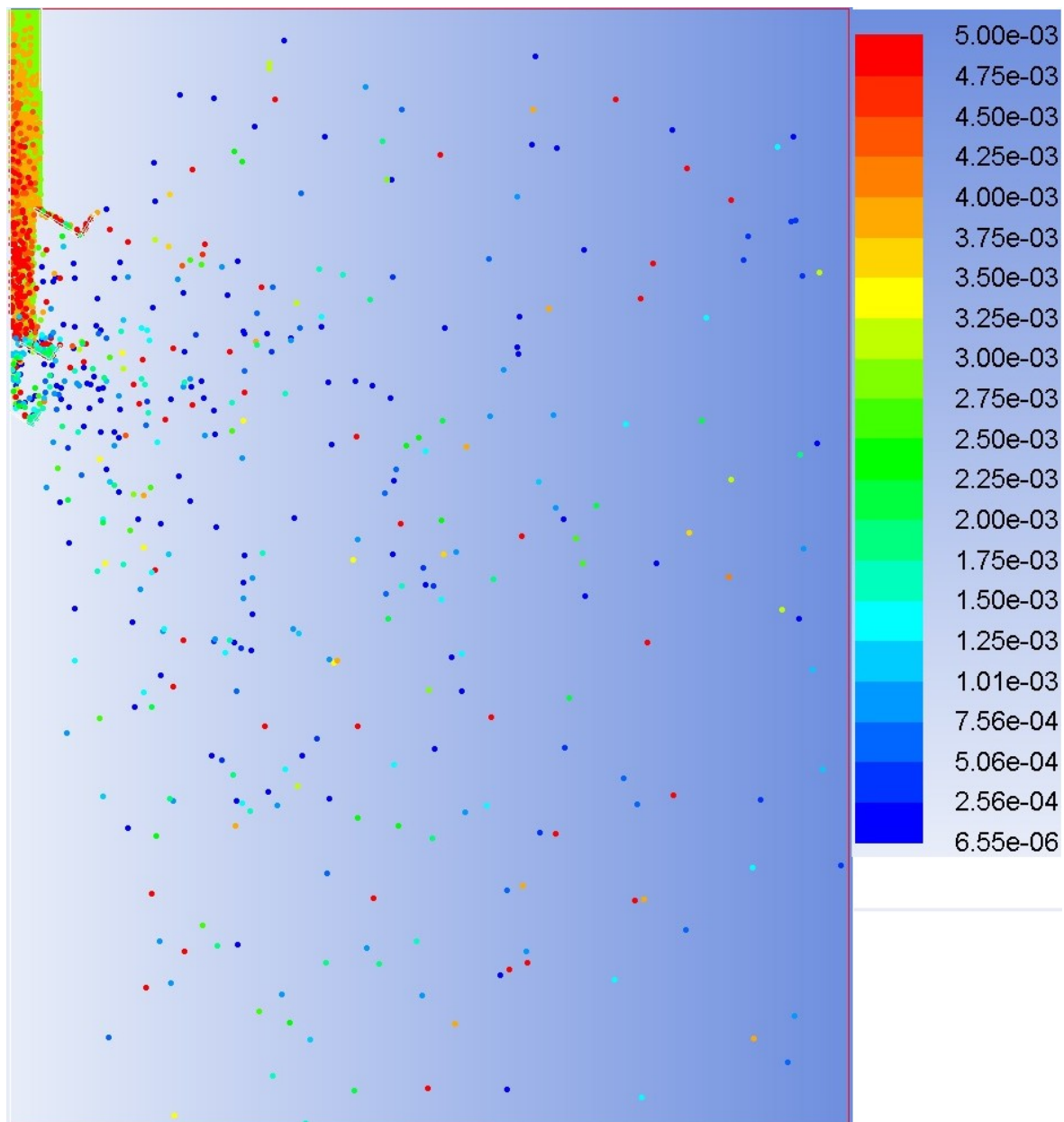
- [1] OKK, Koksovny, a.s <http://www.koksovny.cz/cs/vyrabime-koks/co-je-koks-a-jak-vznika>
- [2]http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/obrazky/seminare/ovzdusi/seminar3/2_toman_final.pdf
- [3] ROZUM, K.: *Metodika snižování tuhých emisí z hasicích věží koksoven*, Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2004, 80 s, ISBN 80-248-0599-5.
- [4] Šťáva, Pavel; Kozubková, Milada; Zavřel, Josef: Trysky pro rozprašování kapaliny především pro požární praxi
- [5] Miroslav VACULÍK a, Jiří BURDA: Posouzení ostřikových vlastností trysek sekundární oblasti chlazení
- [6] HENNLICH, s.r.o: <http://www.hennlich.com/>
- [7] ŠTÁVA, P., Odstředivé trysky pro rozprašování kapaliny
- [8] FANS ,a.s: <http://www.fans.cz>
- [9] BOJKO, M., KOZUBKOVÁ, M., RAUTOVÁ, J. Základy hydromechaniky a zásobování hasiv, SPBI SPEKTRUM, 2008, 198 s. ISBN 978-80-7385-033-3.
- [10] BOJKO, M. 3D proudění – Ansys Fluent učební text, VŠB-TU Ostrava, 2012. 314 s. ISBN 978-80-248-2607-3. < <http://www.338.vsb.cz/PDF/3D-Bojko.pdf>>.
- [11] KOZUBKOVÁ, M. *Modelování proudění FLUENT, CFX*, VŠB-TU Ostrava, 2008, 142 s. <<http://www.338.vsb.cz/PDF/Kozubkova-Fluent.pdf>>.
- [12] FLUENT: Fluent 14.0 - *ANSYS FLUENT*, ANSYS, Inc. 2011.
- [13] BLEJCHAŘ, T. *Turbulence-Modelování proudění – CFX*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, 263s. <http://www.338.vsb.cz/PDF/Turbulence_ESF_v4.pdf>
- [14] FLUENT: Fluent 13.0 workshop06-dpm, ANSYS, Inc. 2011

14. Seznam příloh

- A Zobrazení výsledků simulace pro škrcení na průměr 53,9mm
- B Zobrazení výsledků simulace pro škrcení na průměr 53,1mm
- C Zobrazení výsledků simulace pro škrcení na průměr 52,3mm
- D Zobrazení výsledků simulace pro škrcení na průměr 50,3mm

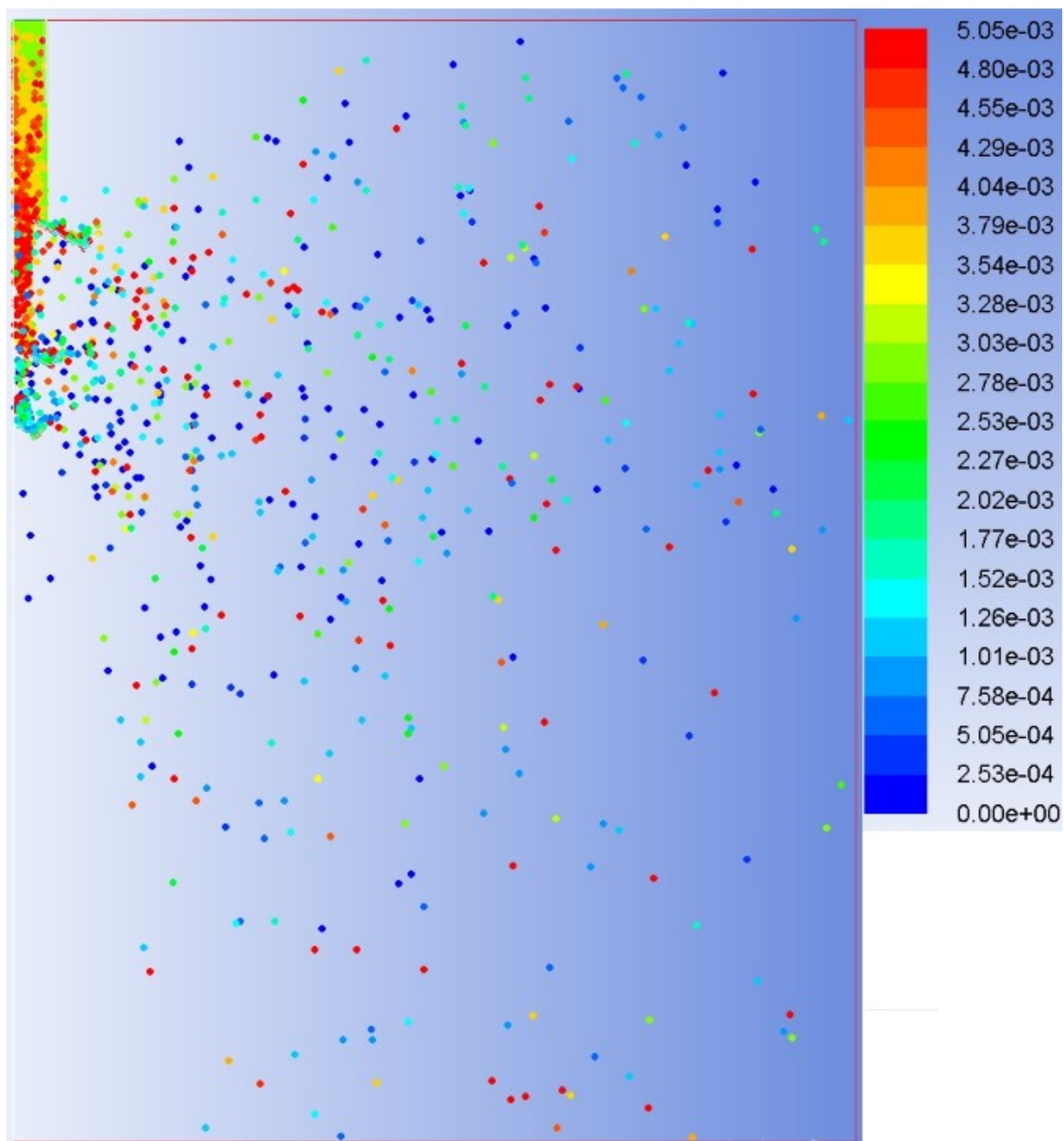
Příloha:

A Zobrazení výsledku simulace pro škrcení na průměr 53,9 mm



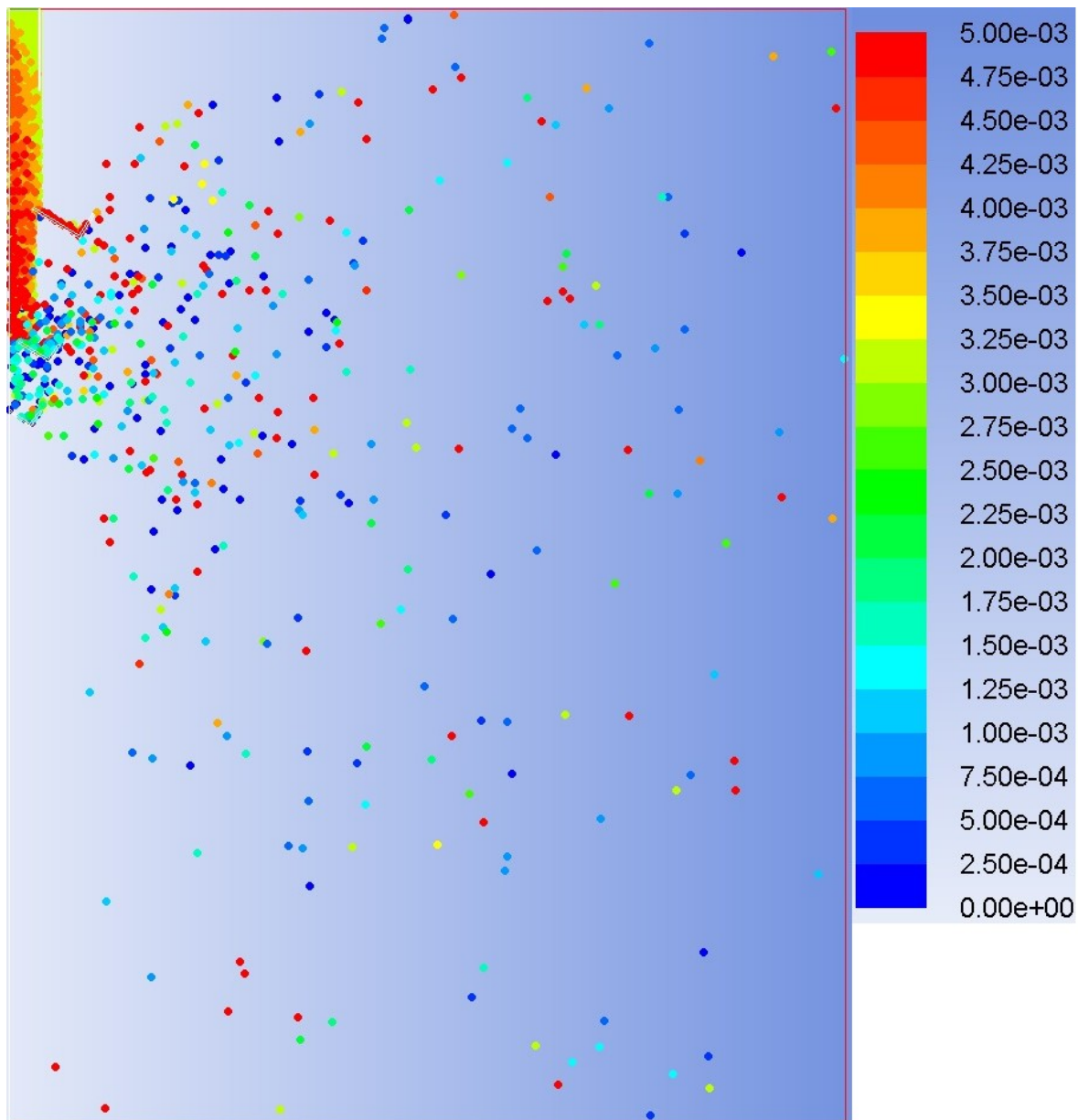
Příloha:

**B Zobrazení výsledku simulace pro škrcení na průměr
53,1mm**



Příloha:

C Zobrazení výsledku simulace pro škrcení na průměr 52,3mm



Příloha:

D Zobrazení výsledků simulace pro škracení na průměr 50,3mm

